dr Miroslava Unkašević
dr Ivana Tošić

# KOŠAVA

*Monografija*

AKADEMSKA MISAO
BEOGRAD, 2006.

Miroslava Unkašević, Ivana Tošić

KOŠAVA
Monografija

*Recenzenti*
dr Mlađen Ćurić
dr Lazar Lazić

*Izdavač*
AKADEMSKA MISAO
Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

*Štampa*
Planeta print, Beograd

*Tiraž*
200 primeraka

ISBN 86-7466-224-2



# Predgovor

Kao što je poznato, pravac i brzina vetra u nekom mestu uslovljeni su raspodelom vazdušnog pritiska na teritoriji na kojoj se posmatrano mesto nalazi. Vazduh u horizontalnom pravcu struji uvek od oblasti visokog ka oblasti niskog vazdušnog pritiska, tj., od anticiklona ka ciklonu. Ovo strujanje se ne vrši direktno u pravoj liniji iz razloga što na jedan vazdušni delić, kod krivolinijskih izobara, deluju uglavnom četiri sile koje imaju različite pravce, smerove i intenzitete. Te sile su: sila gradijenta vazdušnog pritiska, sila devijacije, sila trenja i centrifugalna sila. Pod uticajem ovih sila delići vazduha se kreću po njihovoj rezultanti. Uglavnom vazdušne struje u prizemnim atmosferskim slojevima skreću na severnoj polulopti udesno od pravca gradijenta pritiska, a na južnoj polulopti ulevo.

Ako vazduh duže vremena miruje iznad neke oblasti on dobija izvesne fizičke osobine te oblasti u odnosu na temperaturu, vlažnost itd. Međutim, kada je vazduh, pod uticajem navedenih sila, primoran da se kreće u horizontalnom pravcu, on te svoje osobine menja ili gubi i donosi oslabljene u oblasti u koje dolazi, odnosno preko kojih prelazi. Prema tome, horizontalna vazdušna strujanja iznad nekog mesta prouzrokuju neperiodske promene temperature, vlažnosti vazduha, oblačnosti itd., a u vezi sa ovim promenama izazivaju i izvesne meteorološke pojave kao što su kiša, sneg i dr.

Kada se sve ovo ima u vidu, onda se može, na osnovu proučavanja pravca i brzine vetra u nekom mestu ili oblasti, kao i proučavanjem zavisnosti ostalih meteoroloških elemenata i pojava od pravca i brzine vetra, izvršiti analiza vazdušnih masa koje prelaze preko tog mesta.

Pod uticajem reljefa, naročito ako oblik i položaj planina tome posebno pogoduju, može doći do takvih poremećaja i modifikacija opštih vazdušnih strujanja, koji mogu usloviti pojavu karakterističnih lokalnih vetrova. Ovi

lokalni vetrovi javljaju se na zavetrenim stranama planina, na kojima vazduh prelazi u silazno kretanje. Orografske vetrove, s obzirom na njihovu izvesnu sličnost sa slapovima (vodopadima), nazivamo slapovitim vetrovima. Jedan od takvih vetrova je i košava.

Glavni uzroci kretanja vazdušnih masa u našim krajevima, vezani su za promene u velikim akcionim centrima kao što su Sibirski anticiklon, Islandska depresija, Azorski anticiklon i Mediteranska depresija. U zimskim mesecima dominantan uticaj na vreme kod nas imaju Sibirski anticiklon i Mediteranska depresija. Pri takvoj sinoptičkoj situaciji izobare iznad našeg područja pružaju se u smeru jug-sever. Prizemni vetar u toj situaciji je jugoistočni (košava). Visinski vetar (koji duva duž izobara) duva iznad našeg područja kao južni ili čak jugozapadni. U zimskim mesecima, kada dominira Sibirski anticiklon, na istoku je visok pritisak, koji blokira osnovno zapadno strujanje (koje uglavnom preovlađuje u letnjim mesecima). Drugim rečima, košava je vezana za kontinentalni uticaj i uporedno prisustvo Mediteranske depresije.

Košava ima uticaja i na padavine, tj., nema pojave kiše dok duva košava. Tako košava ima i izvestan prognostički značaj.

U ovoj monografiji materija je grupisana u sedam glava. U uvodnoj glavi su prikazane dve sinoptičke situacije koje uslovljavaju pojavu dva tipa košave na teritoriji Srbije, kao i rezultati statističke obrade vetra na teritoriji Beograda. Monografija obuhvata pored osnovnih karakteristika vetra košave (Glava 2) i prostornu mezoanalizu dve košavske situacije (Glava 3). Statistička analiza maksimalnih brzina vetra košave kao i udarnosti data je u Glavi 4. Promena brzine vetra, temperature i vlažnosti vazduha sa visinom u danima sa najdužom košavom detaljno je opisana u Glavi 5. Spektralna analiza vetra košave, koristeći Blekman-Takijev metod i metod sa više prozora, kao i u novije vreme aktuelnu vejvlet transformaciju, prikazana je u Glavi 6. Razvoj prognostičkih modela (na primer Eta modela) omogućio je i primenu ovih modela za simuliranje košave, što je detaljno prikazano u Glavi 7 za dve izabrane sinoptičke situacije.

Na kraju, drago nam je što možemo ovim putem da se zahvalimo prof. Mlađenu Ćuriću i prof. Lazaru Laziću koji su pažljivo pročitali rukopis i dali korisne sugestije.

*Autori*

# Sadržaj

# 1 Uvod

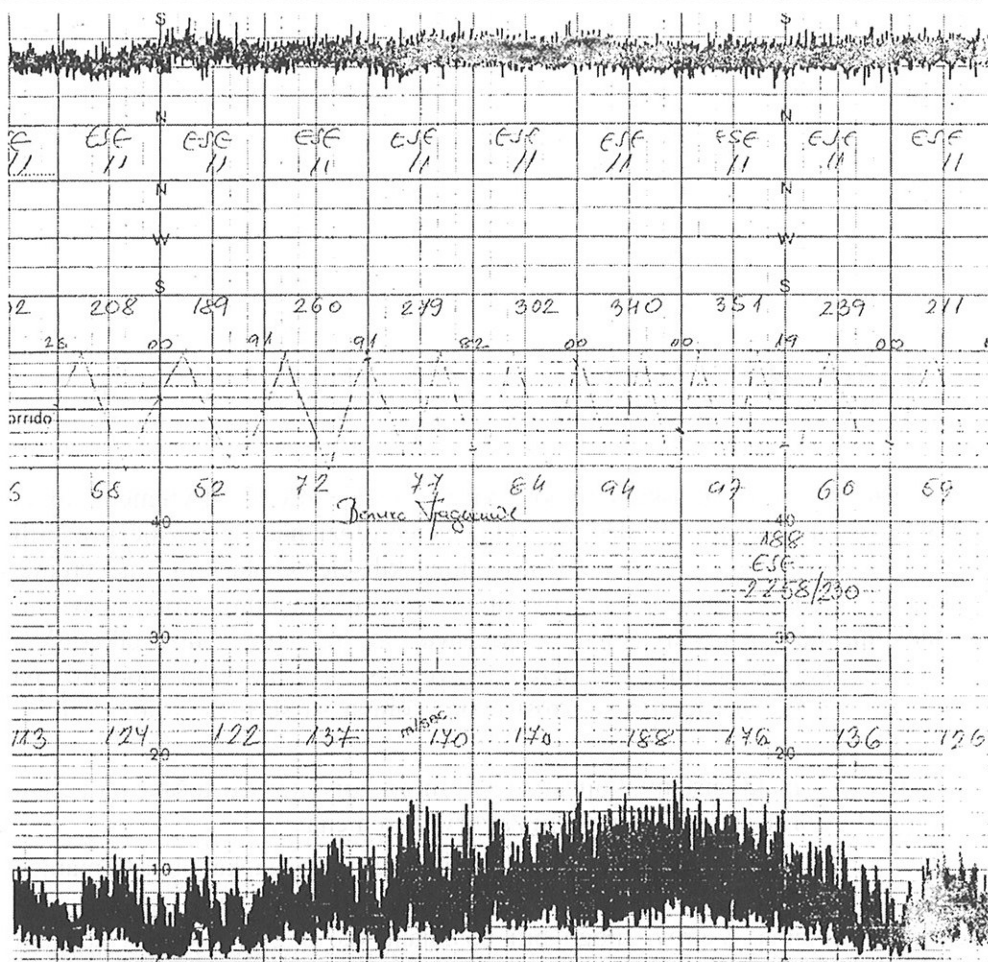
Pošto skoro sve ljudske aktivnosti više ili manje zavise od vremena, to su tokom zadnjih decenija dvadesetog veka meteorolozi najviše pažnje posvetili upoznavanju i prognoziranju različitih klimatskih elemenata koji čine vreme. Tako, u meteorologiji možemo govoriti o čitavim sistemima koji se svojim nastankom, razvojem, kretanjem i iščezavanjem razlikuju od ostalog dela atmosfere. Po prostornim razmerama ove sisteme možemo podeliti na mikrosisteme, mezosisteme i makrosisteme, kojima su se meteorolozi najviše bavili.

Međutim, makrosistemi, koji su odgovorni za pojavu vetra košave na većem delu naše teritorije su veoma značajni za razvoj vremena.

Postojano strujanje vazduha iz oblasti većeg pritiska ka oblasti manjeg pritiska naziva se vetar. Vetar ima svoj pravac, smer i jačinu, pa je stoga vektorska veličina. Vetrovi mogu biti postojani kao što su istočni i zapadni vetrovi ili povremeni kao što su lokalni vetrovi. Lokalni vetrovi u našim krajevima mogu biti vetar s kopna ili vetar s mora, bura, jugo i košava, vetar koji je osnovna tema ove Monografije.

Svi podaci o vetru (košava) korišćeni u ovoj Monografiji registrovani su u Beogradu na Meteorološkoj Opservatoriji na Vračaru ($\varphi$=44°48′ N, $\lambda$=20°28′ E, $H$=132 m) i Aerološkoj Opservatoriji na Zelenom Brdu ($\varphi$=44°47′ N, $\lambda$=20°32′ E, $H$=243 m), kao i na drugim meteorološkim stanicama u košavskom području (južni Banat, Podunavlje i Pomoravlje).

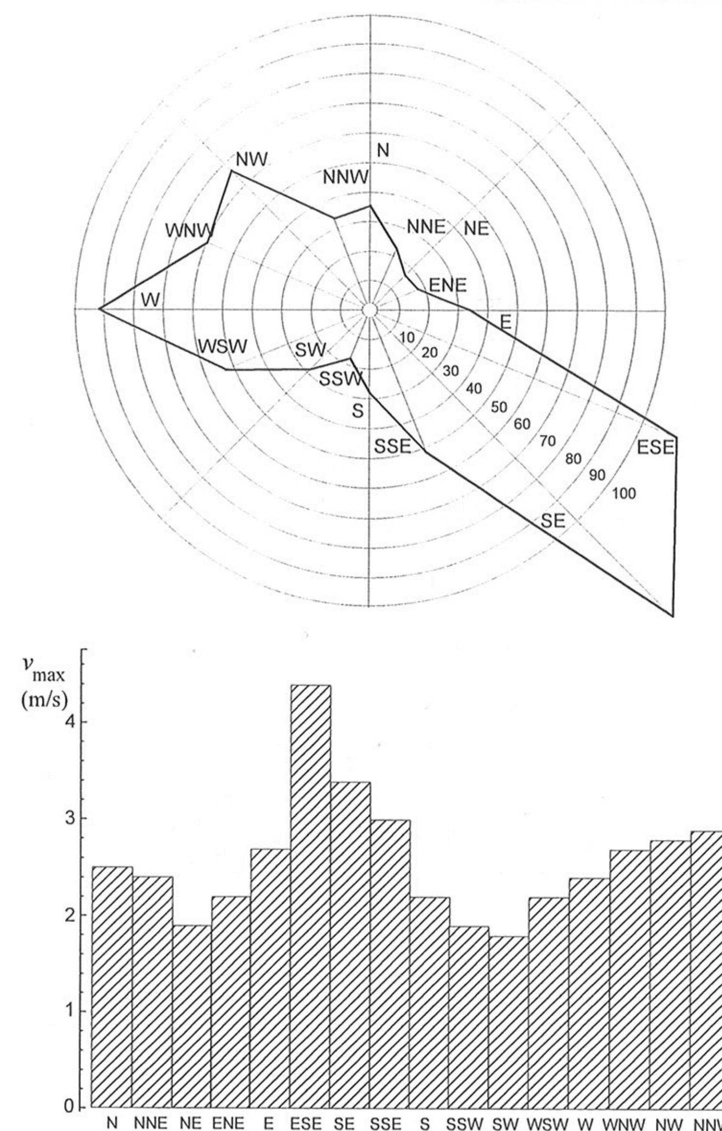
Podaci o vetru se dobijaju osrednjavanjem sa anemografske trake. Primer umerene košave zabeležen je na anemografskoj traci 20. novembra 1991. godine u Velikom Gradištu (slika 1).



**Slika 1.** Anemografska traka zabeležena u Velikom Gradištu 20. novembra 1991. godine.

Statistička obrada vetra uglavnom se svodi na analizu čestine pravaca vetra u promilima (‰), na osnovu koje se crta ruža vetra, kao i na analizu srednjih brzina vetra za svaki od 16 pravaca, na osnovu koje se crta histogram srednje brzine vetra tokom godine (slika 2).






**Slika 2.** Srednja čestina i srednja brzina vetra za 16 pravaca za stanicu Beograd-Opservatorija u periodu od 1888. do 1991. godine.

U tabelama 1 i 2, koje su korišćene za crtanje slike 2, pokazane su čestine 16 pravaca vetra i tišina (‰) kao i srednje brzine vetra u Beogradu u periodu od 1888. do 1991. godine. Pored znatnog broja tišina (183‰) za Beograd je karakteristična pojava vetra iz jugoistočnog pravca-SE (145‰) koji je poznat

kao košava (tabela 1). Najveću čestinu ovaj vetar ima u hladnoj polovini godine (od 158‰ do 189‰), dok u toploj polovini godine, naročito u junu i julu, u Beogradu najveću čestinu imaju vetrovi iz zapadnog pravca (Unkašević, 1994).

**Tabela 1**. Srednje mesečne čestine pravaca vetra i tišina-C (‰) u Beogradu-Opservatorija u periodu od 1888. do 1991. godine.

| Smer | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Meseci | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 33 | 18 | 12 | 12 | 31 | 131 | 158 | 53 | 29 | 18 | 25 | 60 | 91 | 63 | 60 | 28 | 178 |
| II | 33 | 23 | 14 | 14 | 34 | 137 | 165 | 52 | 30 | 15 | 27 | 50 | 92 | 65 | 66 | 34 | 149 |
| III | 39 | 2 | 13 | 12 | 30 | 155 | 168 | 58 | 37 | 19 | 28 | 39 | 84 | 51 | 73 | 35 | 137 |
| IV | 40 | 28 | 20 | 13 | 37 | 114 | 144 | 54 | 36 | 26 | 32 | 55 | 81 | 57 | 74 | 39 | 150 |
| V | 39 | 29 | 23 | 14 | 24 | 92 | 130 | 48 | 30 | 21 | 35 | 62 | 100 | 55 | 72 | 38 | 188 |
| VI | 44 | 31 | 19 | 13 | 21 | 63 | 87 | 39 | 31 | 24 | 44 | 68 | 120 | 73 | 82 | 41 | 200 |
| VII | 43 | 25 | 20 | 10 | 26 | 50 | 78 | 37 | 25 | 17 | 38 | 68 | 123 | 90 | 90 | 45 | 215 |
| VIII | 42 | 26 | 22 | 15 | 31 | 75 | 116 | 86 | 18 | 13 | 31 | 56 | 101 | 69 | 79 | 44 | 226 |
| IX | 34 | 23 | 19 | 15 | 39 | 104 | 150 | 54 | 25 | 15 | 23 | 51 | 83 | 56 | 58 | 35 | 216 |
| X | 26 | 23 | 18 | 11 | 45 | 141 | 186 | 62 | 30 | 16 | 20 | 43 | 70 | 40 | 52 | 30 | 185 |
| XI | 31 | 23 | 14 | 11 | 42 | 144 | 189 | 69 | 26 | 17 | 21 | 43 | 76 | 48 | 47 | 22 | 176 |
| XII | 32 | 19 | 14 | 14 | 38 | 144 | 174 | 54 | 25 | 16 | 25 | 52 | 86 | 57 | 51 | 22 | 177 |
| God. | 36 | 24 | 17 | 18 | 33 | 112 | 145 | 51 | 28 | 18 | 29 | 54 | 92 | 60 | 67 | 34 | 183 |

**Tabela 2**. Srednje mesečne brzine vetra (m/s) u Beogradu-Opservatorija u periodu od 1888. do 1991. godine.

| Smer | N | NNE | NE | ENE | E | ESE | SE | SSE | S | SSW | SW | WSW | W | WNW | NW | NNW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Meseci | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 2,7 | 2,0 | 1,8 | 2,2 | 3,1 | 5,0 | 4,1 | 2,9 | 2,4 | 1,7 | 1,5 | 2,2 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,1 |
| II | 2,2 | 2,4 | 1,8 | 2,5 | 3,1 | 5,5 | 4,6 | 4,1 | 2,5 | 2,0 | 1,7 | 2,2 | 2,2 | 2,9 | 3,5 | 2,9 |
| III | 2,9 | 2,5 | 1,8 | 2,2 | 2,5 | 5,9 | 4,8 | 3,5 | 2,5 | 2,4 | 2,0 | 2,4 | 2,5 | 2,9 | 3,1 | 3,3 |
| IV | 2,7 | 2,7 | 2,0 | 2,4 | 3,1 | 5,5 | 4,6 | 3,3 | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 2,7 | 2,9 | 3,3 | 3,1 | 3,3 |
| V | 2,6 | 2,7 | 2,2 | 2,2 | 2,4 | 4,1 | 3,3 | 2,9 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 2,7 |
| VI | 2,5 | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 2,0 | 2,9 | 2,7 | 2,4 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,7 | 3,1 | 2,7 | 2,7 |
| VII | 2,5 | 2,2 | 1,8 | 1,7 | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 1,7 | 1,5 | 1,8 | 2,4 | 2,5 | 2,7 | 2,7 | 2,9 |
| VIII | 2,4 | 2,4 | 1,7 | 1,7 | 2,4 | 2,9 | 2,9 | 2,4 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 2,2 | 2,4 | 2,7 | 2,7 | 2,5 |
| IX | 2,4 | 2,4 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 3,5 | 3,3 | 2,9 | 2,0 | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 2,4 | 2,4 | 2,7 | 2,7 |
| X | 2,5 | 2,2 | 1,7 | 1,5 | 3,1 | 4,6 | 4,1 | 2,9 | 2,0 | 2,0 | 1,7 | 1,8 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,7 |
| XI | 2,2 | 2,4 | 2,0 | 3,7 | 2,9 | 5,5 | 4,3 | 3,3 | 2,7 | 2,0 | 1,8 | 2,2 | 2,5 | 2,4 | 2,4 | 2,7 |
| XII | 2,5 | 2,0 | 1,8 | 2,0 | 2,9 | 5,2 | 4,3 | 3,5 | 2,5 | 1,8 | 1,5 | 2,4 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,9 |
| God. | 2,5 | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 2,7 | 4,4 | 3,4 | 3,0 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 2,3 | 2,4 | 2,7 | 2,8 | 2,9 |

Karakteristično je da se najjači srednji vetar javlja u martu i to sa jačinom od 5,9 m/s iz pravca ESE i sa jačinom od 4,8 m/s iz SE pravca (tabela 2). Mesec mart se odlikuje i sa najvećom čestinom košavskih perioda u trajanju od 2, 3 i 4 dana, ali su zabeleženi i periodi u trajanju od 18, 21 i 22 dana (Milosavljević, 1950).



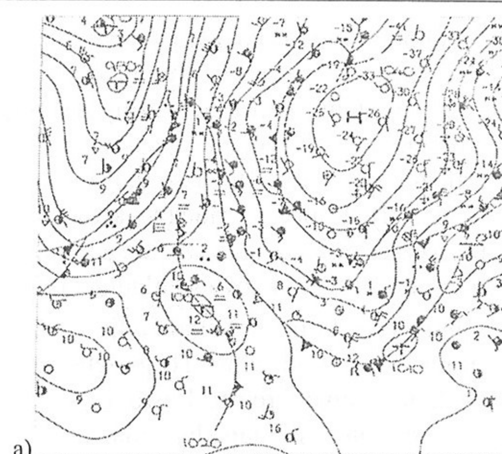
U sinoptičkim situacijama kada dolazi do formiranja gradijenta pritiska u pravcu od istočne ili jugoistočne Evrope prema zapadnom Sredozemlju, u istočnom i severoistočnom delu teritorije Srbije počinje da duva vetar jugoistočnog smera, košava. To su u većini slučajeva situacije kada se razvija ciklon u zapadnom Sredozemlju (slika 3), ili se nalazi centar anticiklona iznad istočnog dela Evrope (slika 4). U prvom slučaju, košava ima više južni smer, fenskog je karaktera i zove se topla košava. U poslednjem slučaju, košava ima više istočni smer, burskog je karaktera i zove se hladna košava.

Poznato je da je fen vetar koji se često javlja u Austriji, Švajcarskoj i Nemačkoj, tj., u oblastima severno od Alpa. To je vetar koji se spušta sa Alpa, pri čemu se zagreva i donosi suvo vreme. Pošto je košava u prvom slučaju vezana za približavanje ciklona sa zapada, ona donosi vazduh sa nižih geografskih širina, tj., ima karakteristike suvog i toplog vetra. Posle ovakve košave obično dolazi do prodora hladnog vazduha i pojave kiše.

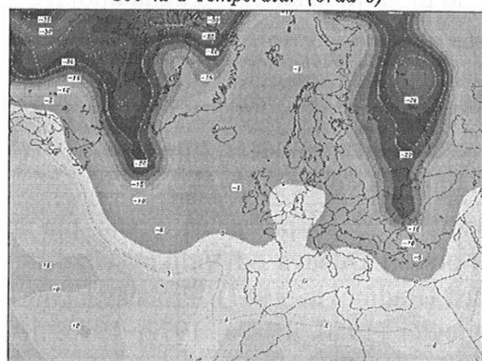
Kada u toku zime dođe do formiranja izrazitog anticiklona sa centrom u Sibiru, vazduh koji se prebacuje preko planina istočne Srbije ne može se značajno dinamički zagrejati i u oblasti Pomoravlja, Podunavlja i istočnog Banata duva veoma hladan i slapovit vetar, tipa bure. I u ovom slučaju košava ne donosi padavine osim retkog i suvog snega.

Košavu čini vazduh koji se prebacuje preko planina istočne Srbije, a naročito je izrazita u oblasti Dunava od Velikog Gradišta do Novog Sada i u Banatu u okolini Vršca (Radinović, 1981). Proučavanjem košave u Podunavlju bavili su se Milosavljevići (1950, 1950a, 1972, 1975, 1976), a košavom kao modifikatorom klime Stanojević (1959). Učestanost košave, odnosno broj dana sa košavom u pojedinim mesecima u hladnoj polovini godine je dosta različit od godine do godine. Srednji broj dana sa košavom je u oktobru 8,0, u novembru 11,3, u decembru 9,1, u januaru 7,3 i u martu 9,1. Prema tome, košava je najčešća u novembru, decembru i martu, a najređa u januaru (Milosavljević, 1950a, 1976).

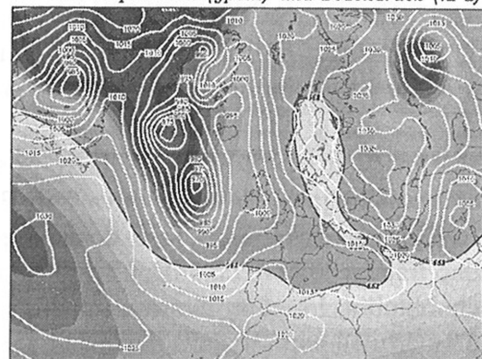
Trajanje perioda sa košavom je takođe različito i zavisi od postojanosti sinoptičke situacije koja je uslovljava. Najčešće duva 2 do 3 dana, a ponekad i znatno duže i do mesec dana. Prosečno traje 5 dana. Prema Milosavljeviću (1950, 1976), neprekidno trajanje košave od 5 dana i duže u periodu od 1920. do 1945. godine bilo je u oktobru 13 puta, u novembru 21, u decembru 19, u januaru 11 i u februaru i martu 14 puta. Košava može da traje i mesec dana, kada pomenuti termički anticiklon sa centrom iznad Rusije postane blokirajući.



a)



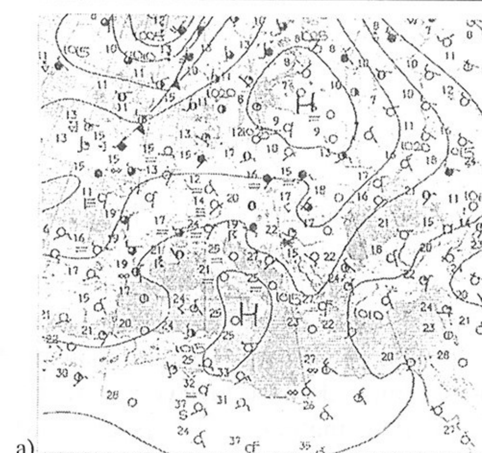

b)



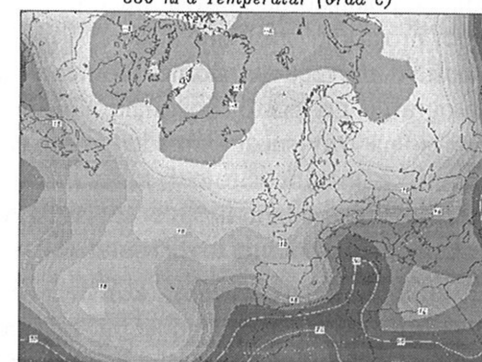

c)

**Slika 3**. Sinoptičke karte Evrope za 14. januar 1972. godine u 01 čas po SEV, * označava lokaciju Beograda: a) prizemna karta, b) temperatura na 850 hPa, c) geopotencijal na 500 hPa.





a)




b)




c)

**Slika 4**. Kao na slici 3, ali za 22. avgust 1974. godine.

Najduži period sa košavom u trajanju od 31 dana je zabeležen 1953. godine (11. oktobar-10. novembar) i 1972. godine (14. januara-13. februara). Po jačini i posledicama po privredu značajno je pomenuti košavu od 25. do 29. marta 1959. godine, kada su u Vršcu zabeleženi udari vetra od 37,3 m/s, a u Beogradu od 33, 8 m/s.

Zbog mogućeg uticaja na građevinske objekte, više autora se bavilo proučavanjem udarnosti vetra bez obzira na pravac. Davenport (1961), Borisenko (1977), Wieringa (1973) i Jackson (1978) bavili su se proučavanjem udarnosti vetra u prizemnom sloju atmosfere, dok su Davies i Newstein (1968) kao i Brook i Spillane (1970) proučavali promenu maksimalnih udara vetra sa visinom. Dosadašnja izučavanja udarnosti košave za teritoriju Srbije odnosila su se samo na klimatološka razmatranja ove pojave (Milosavljević, 1972; Milosavljević, 1975 i Unkašević i saradnici, 1998).

Vukmirović (1985a) je pokazao da košava može biti kako frontalna tako i nefrontalna. Proučavajući prostornu strukturu košave, Vukmirović je ustanovio da za vreme pojave košave najveće prostorne promene trpi prizemno polje pritiska zbog uticaja orografije pri postojećoj makrocirkulaciji. U istom radu, Vukmirović je ukazao i na zavisnost između vremena pojave dnevnog maksimuma intenziteta niske mlazne struje i maksimalnih prizemnih udara vetra. Naime, nivo maksimalnog udara košave se javlja veoma blizu donje granice stabilnog sloja, koji obično počinje inverzijom.

Radosavljević i Vojinović-Kljaić (1985), koristeći postupak višestruke linearne korelacije, su dobili dijagnostičke jednačine za srednju i maksimalnu časovnu brzinu vetra koje se mogu koristiti u operativnoj praksi tokom dana sa pojavom košave.

D. Vukmirović i saradnici (1997) su na primeru dugotrajne košave prikazali statističke karakteristike strukture košave na gradskoj lokaciji. Za vrednosti dnevnih brzina vetra, maksimalnih časovnih brzina i faktora udarnosti urađena je korelaciona i spektralna analiza da bi se videlo koji opseg učestanosti navedenih veličina ima najveću energiju. Dobijeno je da najveća energija srednjih brzina vetra ima period od oko 122 h, što odgovara procesima sinoptičkih razmera. Za faktor udarnosti maksimum je na oko 4h, što odgovara lokalnim uticajima.

# 2 Osnovne karakteristike vetra košave

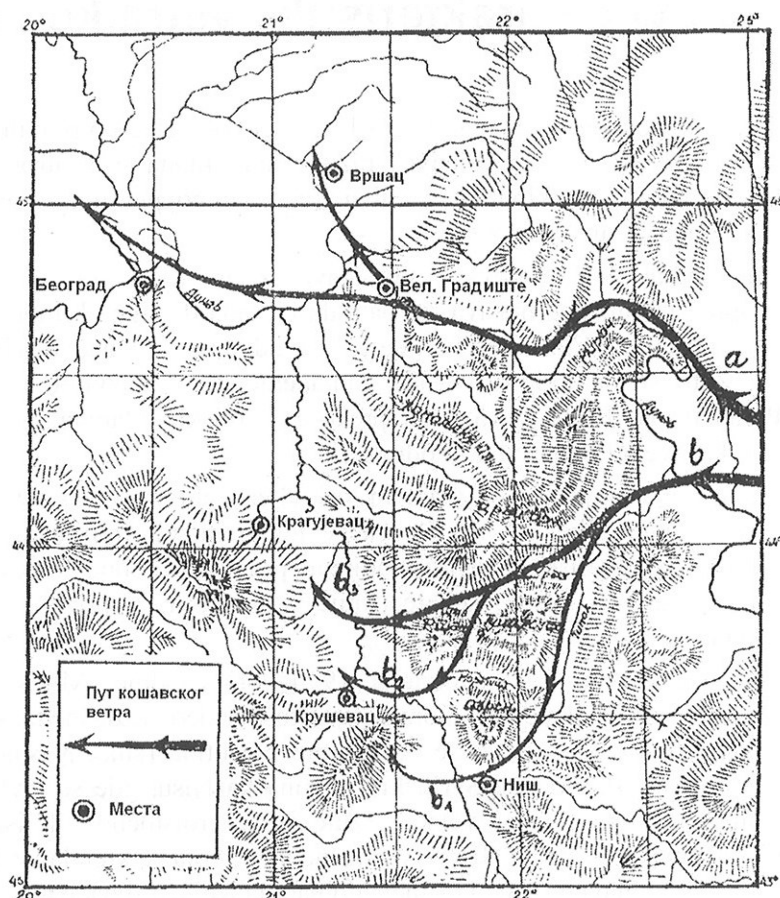
Iznad severoistočnog i istočnog dela Srbije jaka košava se po pravilu javlja kao posledica istovremenog postojanja izrazitog anticiklona sa centrom iznad Ukrajine i Besarabije i ciklona u Mediteranu. Ove pojave imaju sezonski karakter i najizrazitije su tokom zime.

Hladan vazduh, koji nadire iz SE pravca nagomilava se i delimično zaustavlja ispred planinskog masiva Karpata da bi kada dostigne kritičnu masu počeo da se prebacuje u Vlašku niziju i dalje kreće duž korita Dunava, Timoka i Crne Reke. Zato se na teritoriji Srbije zahlađenje prvo pojavi u Timočkoj Krajini. Prebacivanje hladnog vazduha preko Homoljskih planina uslovljava zatim pojavu košave u Pomoravlju i Podunavlju.

Pravac duvanja košave je uglavnom uslovljen reljefom. Tako u dolini Velike Morave i Dunava košava ima SE pravac dok prema periferiji divergira. U ovom slučaju su karakteristični veliki gradijenti pritiska u podnožju Karpata i Homoljskih planina i sve ređe izobare (linije istih vrednosti pritiska) prema istoku i zapadu.

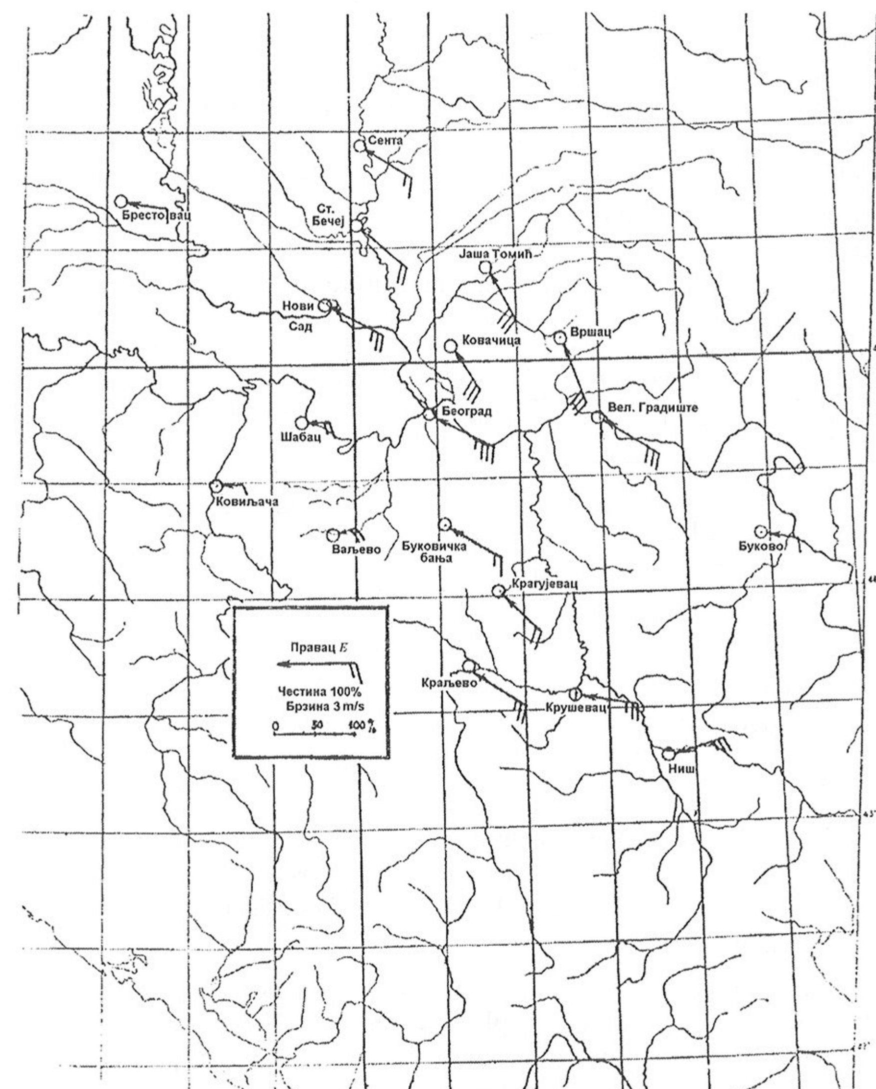
Proučavajući košavu tokom perioda 1930-1940. godine, Milosavljević (1950) je došao do zaključka da prilikom pojave košave deo vazdušne mase koja struji uz Dunav (slika 5, smer *a*) se odvaja pre Negotina (slika 5, smer *b*) i prebacuje kroz planinske klance Svrljiških planina ka Nišu, gde se javlja kao fenski padajući i slapovit vetar velike brzine iz severoistočnog ili istočnog pravca (slika 5, smer $b_1$). Preostali deo vazdušne mase koja se kretala uz Timok i koja se odvojila od glavne struje i dospela do padina Rtnja, prebacivala se kroz planinske klance ka Aleksincu (slika 5, smer $b_2$) i ka Paraćinu i Ćupriji (slika 5, smer $b_3$). Za pomenuti period tokom hladne polovine godine (oktobar-mart) Milosavljević je odredio i rezultante pravca vetra za 18 meteoroloških stanica

tokom košavskih perioda (slika 6). Pravac ovih rezultanti predstavlja pravac preovlađujućeg vetra na stanici za vreme košavske situacije, a njihova dužina predstavlja čestinu preovlađujućeg vetra u %. Poprečne crte na rezultantama vetra predstavljaju srednju brzinu košavskog vetra u m/s, i to duža crta označava 2 m/s, a kraća 1 m/s. To su srednje brzine vetra računate u periodu 1930-1940. godine za najčešće vetrove iz jugoistočnog kvadranta, osim za Niš gde su uzimani pravci vetra od severoistočnog do istočnog-jugoistočnog pravca. Kao što se i očekivalo, najveće brzine košave u hladnom periodu su registrovane u Velikom Gradištu, Beogradu, južnom Banatu i Vršcu.




**Slika 5**. Put košave (Milosavljević, 1950).






**Slika 6**. Rezultante pravca vetra za 18 meteoroloških stanica tokom košavskih perioda (Milosavljević, 1950).

Kao po pravilu, košava je najčešća u hladnoj polovini godine tj., od oktobra do marta, mada se može javiti i u toploj polovini godine (tabela 3).

Kao što se može videti iz tabele 3, u toku ispitivanog perioda sa najčešćom pojavom košave (1971-1975), broj dana sa košavom se kretao od 11,5% (leto) do 16,1% (zima). Najveća brzina košave izmerena je tokom jeseni i zime (od 25,4 do 31,0 m/s), dok je tokom proleća i jeseni maksimalna brzina manja (24,0 m/s). Pri odabiranju dana sa košavom Unkašević i saradnici (1998) su usvojili sledeći kriterijum: kao dane u kojima je duvala košava uzimani su svi oni dani u kojima je u sva tri klimatološka termina osmatranja (07, 14 i 21 čas) duvala košava. Što se tiče intenziteta brzine vetra, u obzir su uzimani samo oni dani u kojima je srednja časovna brzina vetra bila jednaka ili veća od 1,0 m/s.

**Tabela 3**. Broj dana sa košavom *N* (%) i njena maksimalna brzina (m/s) po sezonama u Beogradu-Opservatorija u periodu od 1971. do 1975. godine (Unkašević i saradnici, 1998).

| God. | Proleće N (%) | $v_{max}$ | Leto N(%) | $v_{max}$ | Topla pol. god. N(%) | Jesen N(%) | $v_{max}$ | Zima N(%) | $v_{max}$ | Hladna pol. god. N(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1971 | 15,7 | 24,0 | 10,7 | 14,8 | 26,4 | 10,1 | 25,4 | 10,4 | 21,9 | 20,5 |
| 1972 | 15,7 | 19,9 | 8,1 | 15,5 | 23,9 | 11,2 | 17,4 | 20,5 | 31,0 | 31,7 |
| 1973 | 12,1 | 18,9 | 12,4 | 23,5 | 24,2 | 16,6 | 18,5 | 13,8 | 29,7 | 30,3 |
| 1974 | 19,4 | 19,6 | 15,4 | 19,0 | 34,8 | 19,9 | 21,5 | 18,8 | 26,4 | 38,7 |
| 1975 | 15,4 | 17,7 | 10,7 | 16,2 | 26,1 | 16,6 | 23,9 | 16,9 | 27,6 | 33,4 |
| Sr. vr. | 15,7 | | 11,5 | | 27,1 | 14,9 | | 16,1 | | 30,9 |

Treba napomenuti da se najveće brzine vetra u Beogradu javljaju iz košavskog pravca i da je srednja brzina košave u svim mesecima tokom godine skoro dva puta veća od srednje brzine vetra računate uzimajući u obzir sve pravce duvanja vetra (Stanojević, 1959; Unkašević, 2003).

Analizirajući košavu u Beogradu tokom perioda 1920-1945. godine, Milosavljavić (1950) je došao do zaključka da se košava u trajanju od pet i više dana najčešće javlja u novembru i decembru, tj. da košava najduže traje krajem jeseni i početkom zime.

Prema srednjim vrednostima broja dana sa košavom u hladnom periodu izgleda da se u novembru javlja duplo više dana sa košavom nego u januaru. Iz tabele 4 se vidi da je verovatnoća pojave košave u hladnom periodu (oktobar-mart) najveća u trećoj dekadi oktobra i da iznosi 35% (Milosavljević, 1950a). Novembar i decembar imaju najveću verovatnoću pojave košave u prvoj, a najmanju u trećoj dekadi. Januar, međutim, ima najveću verovatnoću pojave u trećoj dekadi, a najmanju u prvoj. Iz podataka se vidi da je najveća verovatnoća pojave košave u februaru u poslednjih osam dana (31%). U trećoj dekadi marta verovatnoća pojave košave je najveća i iznosi 39%, dok prethodne dve dekade imaju skoro upola manju verovatnoću.



**Tabela 4**. Verovatnoća pojave košave u Beogradu za period 1920-1940. god. u procentima (%) (Milosavljević, 1950a).

| Dan/mesec | X | XI | XII | I | II | III |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 19 | 23 | 23 | 15 | 25 | 19 |
| 2 | 19 | 23 | 35 | 19 | 35 | 19 |
| 3 | 15 | 42 | 46 | 15 | 12 | 15 |
| 4 | 23 | 46 | 42 | 23 | 19 | 23 |
| 5 | 19 | 42 | 25 | 19 | 25 | 19 |
| 6 | 23 | 50 | 35 | 19 | 23 | 23 |
| 7 | 19 | 46 | 38 | 19 | 8 | 19 |
| 8 | 19 | 35 | 35 | 25 | 23 | 19 |
| 9 | 12 | 46 | 38 | 23 | 19 | 12 |
| 10 | 4 | 54 | 42 | 19 | 12 | 5 |
| I dekada | 17 | 41 | 36 | 20 | 20 | 17 |
| 11 | 12 | 46 | 38 | 25 | 12 | 12 |
| 12 | 19 | 46 | 35 | 25 | 8 | 19 |
| 13 | 19 | 46 | 35 | 15 | 4 | 19 |
| 14 | 19 | 50 | 31 | 23 | 4 | 19 |
| 15 | 15 | 35 | 31 | 31 | 4 | 15 |
| 16 | 15 | 19 | 23 | 31 | 19 | 15 |
| 17 | 19 | 35 | 25 | 23 | 38 | 19 |
| 18 | 19 | 31 | 31 | 31 | 42 | 19 |
| 19 | 15 | 35 | 38 | 31 | 31 | 15 |
| 20 | 19 | 35 | 38 | 15 | 23 | 19 |
| II dekada | 17 | 38 | 33 | 25 | 19 | 17 |
| 21 | 31 | 35 | 31 | 12 | 31 | 31 |
| 22 | 42 | 42 | 25 | 15 | 35 | 42 |
| 23 | 50 | 46 | 31 | 19 | 31 | 50 |
| 24 | 25 | 46 | 31 | 31 | 38 | 25 |
| 25 | 42 | 25 | 19 | 23 | 31 | 42 |
| 26 | 31 | 12 | 15 | 31 | 35 | 31 |
| 27 | 31 | 25 | 23 | 31 | 35 | 31 |
| 28 | 42 | 25 | 23 | 15 | 15 | 42 |
| 29 | 38 | 35 | 35 | 23 | / | 38 |
| 30 | 25 | 31 | 35 | 31 | / | 25 |
| 31 | 35 | / | 19 | 42 | / | 35 |
| III dekada | 35 | 32 | 26 | 27 | 31 | 39 |

Maksimalna verovatnoća računata po danima (tabela 4) u iznosu od 50% u oktobru i martu javlja se 23. dana, što znači da će svake druge godine 23. marta i 23. oktobra duvati košava. U novembru je maksimalna verovatnoća desetog, a u decembru trećeg dana. Maksimum verovatnoće pojave košave javlja se poslednjeg dana januara dok je u februaru osamnaestog dana.

U tabeli 5 pokazana su odstupanja pojedinih klimatskih elemenata od normalnih vrednosti pri duvanju košave u periodu od 1920. do 1945. godine (Milosavljević, 1950a). Kao što se može videti, najhladnije je pri košavi tipa bure tokom proleća i jeseni, a najtoplije je pri košavi tipa fena tokom leta, kada je osmotren i najveći porast apsolutne vlažnosti i najveći pad relativne vlažnosti. Tokom zime za vreme košave srednje mesečne temperature su više od prosečnih, kao posledica dinamičkog zagrevanja vazduha prilikom spuštanja, dok je relativna vlažnost niža od prosečne. Košava je padajući vetar i pri njenoj pojavi u istočnim i severoistočnim delovima Srbije vreme je pretežno vedro i najveći pad oblačnosti zabeležen je pri košavi tipa bure tokom leta i jeseni. Ukoliko je pojava košave praćena i izrazitim frontom, oblačnost može biti značajna kao i izmerena količina padavina (slučaj pojave košave od 16. do 18. oktobra 1976. godine, koja je opisana u Glavi 3).

Interesantno je napomenuti da je leti vetar iz ESE pravca topliji u odnosu na vetar iz SE pravca, dok zimi važi obrnuto (tabela 5). Razlog tome leži u činjenici što leti vetar iz ESE pravca na područje Srbije donosi tople kontinentalne vazdušne mase iz Ukrajinske ravnice, dok vetar iz SE pravca donosi vazdušne mase anticiklonskog porekla koje su se formirale iznad Male Azije, Balkana i Srednje Azije (oblasti gde se nalaze Sredozemno, Egejsko, Mramorno i Crno more).

**Tabela 5.** Odstupanje temperature $\Delta T$ (°C), apsolutne vlažnosti $\Delta e$ (gm$^{-3}$), relativne vlažnosti $\Delta U$ (%) i oblačnosti $\Delta n$ (%) od normalnih vrednosti pri duvanju košave u Beogradu po sezonama (Milosavljević, 1950a).

| Pravac košave | Zima | | | | Proleće | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Delta T$ | $\Delta e$ | $\Delta U$ | $\Delta n$ | $\Delta T$ | $\Delta e$ | $\Delta U$ | $\Delta n$ |
| ESE | 0,3 | -0,2 | -4 | -4 | -0,1 | -0,1 | -3 | -1 |
| SE | 1,9 | 0,3 | -6 | -10 | 1,1 | 0,4 | -3 | -1 |
| SSE | 3,9 | 0,6 | -9 | -6 | 3,3 | 0,3 | -9 | 6 |

| Pravac košave | Leto | | | | Jesen | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\Delta T$ | $\Delta e$ | $\Delta U$ | $\Delta n$ | $\Delta T$ | $\Delta e$ | $\Delta U$ | $\Delta n$ |
| ESE | 2,6 | 0,5 | -3 | -1 | -0,1 | -0,4 | -5 | -14 |
| SE | 2,1 | 0,1 | -7 | -13 | 1,5 | 0,2 | -5 | -9 |
| SSE | 4,9 | 0,7 | -13 | -1 | 4,1 | 0,7 | -11 | -6 |

# 3 Prostorna mezoanaliza košavskih situacija

U ovoj Glavi monografije analizirana su dva karakteristična slučaja pojave košave na teritoriji Srbije sa jakim udarima vetra od preko 30,0 m/s i to u periodima od 16. do 18. oktobra 1976. godine i od 05. do 06. decembra 1995. godine. U prvom slučaju, pojava košave je bila praćena obilnim padavinama (frontalna košava), dok je za drugi slučaj bilo karakteristično uglavnom suvo vreme (nefrontalna košava). Kao osnovni materijal za praćenje promena osnovnih meteoroloških elemenata iz časa u čas poslužili su podaci iz obrasca "Razvoj vremena" registrovani na glavnim meteorološkim stanicama lociranim u košavskoj oblasti. U oba slučaja su podaci uzimani sa 18 glavnih meteoroloških stanica i to u prvom slučaju korišćene su stanice: Sombor, Palić, Novi Sad, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Sremska Mitrovica, Beograd, Valjevo, Kraljevo, Smederevska Palanka, Veliko Gradište, Ćuprija, Kruševac, Niš, Crni Vrh, Negotin i Zaječar, a u drugom slučaju stanice: Palić, Bečej, Kikinda, Zrenjanin, Vršac, Banatski Karlovac, Rimski Šančevi, Beograd, Smederevska Palanka, Veliko Gradište, Kragujevac, Ćuprija, Kruševac, Crni Vrh, Negotin, Niš, Dimitrovgrad i Zaječar.

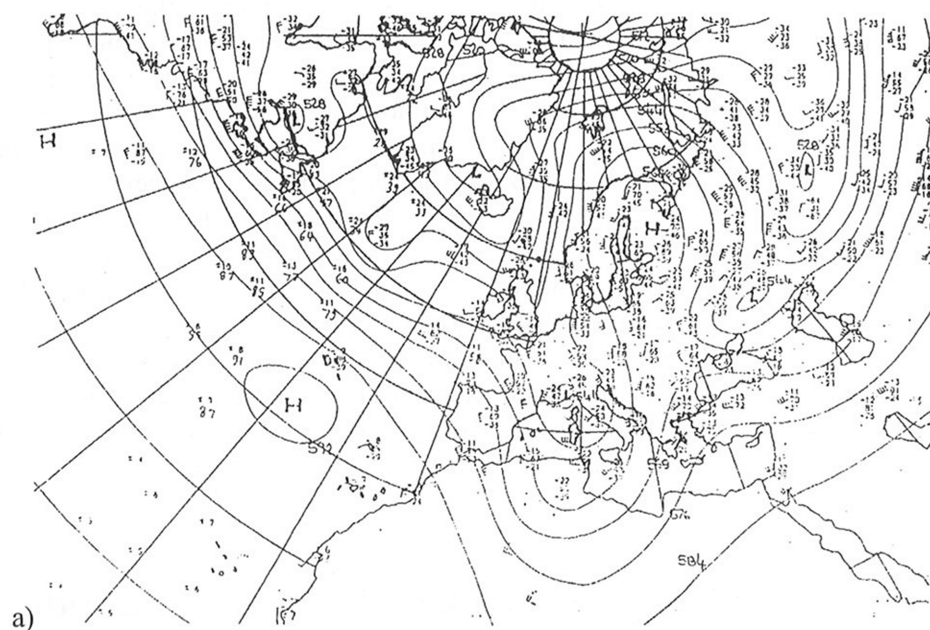
## 3.1 Sinoptička situacija iznad Evrope u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine

Sinoptička situacija iznad Evrope u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine bila je karakteristična po sledećem:

-16. oktobra 1976. godine u prizemlju (01 čas po SEV) je postojao razvijen anticiklon sa centrom u severozapadnom delu Rusije. U Sredozemlju (Tirensko more) formirao se mladi ciklon. Teritorija Srbije se nalazila u toplom i vlažnom sektoru Sredozemnog ciklona.

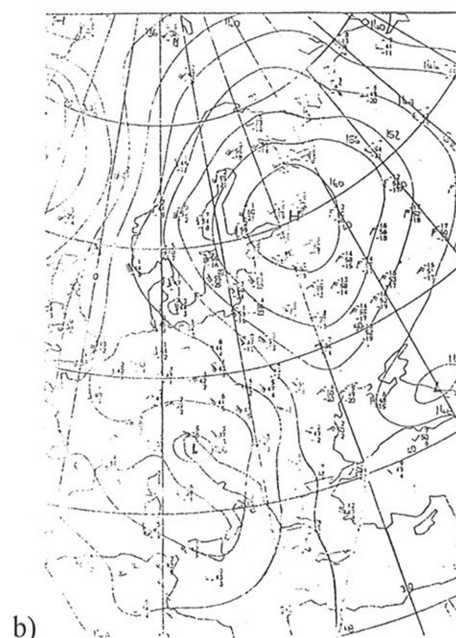
-17. oktobra 1976. godine u prizemlju (01 čas po SEV) Sredozemni ciklon je u svom razvoju dostigao nivo od 500 mb na kome postoji zatvorena izohipsa (linija koja povezuje mesta iste visine) u oblasti Đenovskog zaliva (slika 7a). Iznad teritorije Srbije dolazi zbog toga do zgušnjavanja izobara koje su orijentisane u pravcu NW-SE, oblačno je i kišovito vreme sa hladnim frontom koji se približava sa SW (slika 7c).

-18. oktobra 1976. godine u prizemlju (01 čas po SEV) jača formiran ciklon iznad Velike Britanije, dok ciklon u Sredozemlju slabi uslovljavajući pad gradijenta pritiska (promena pritiska u horizontalnom pravcu) iznad teritorije Srbije i smirivanje padavina i košave.

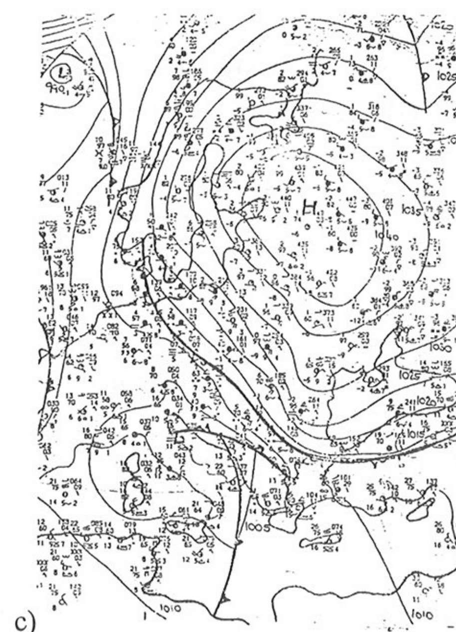


a)





b)



c)

**Slika 7**. Sinoptičke katre Evrope: a) AT 500 mb, b) AT 850 mb i c) prizemna karta 17. oktobra 1976. godine (01 čas SEV).

## 3.2 Polje pritiska iznad košavske oblasti u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine

Detaljnu analizu košavske situacije iznad teritorije Srbije u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine uradila je Petrović (1977). Posmatrajući tendenciju pritiska (mb) u pet termina u trajanju od po 12 časova (tabela 6) možemo da zaključimo sledeće:

-u prvom terminu postojao je pad pritiska na zapadnom i porast pritiska na istočnom delu košavske oblasti;

-u drugom terminu pritisak je rastao u čitavoj košavskoj oblasti;

-u trećem terminu postojao je najveći porast pritiska u čitavoj košavskoj oblasti;

-u četvrtom terminu u istočnom delu košavske oblasti pritisak je počeo da opada, što je ukazivalo na početak slabljenja posmatranog mezosistema;

-u petom terminu uočen je opšti porast pritiska sa najvećim intenzitetom u zapadnom delu košavske oblasti.

## 3.3 Vetar u košavskoj oblasti u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine

Posmatrajući pravac vetra u košavskoj oblasti u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine (tabela 7) možemo zaključiti sledeće:

-Beograd je jedino mesto sa konstantnim pravcem vetra od 16. do 18. oktobra, pa se može smatrati centrom košavske oblasti;

-mala odstupanja od srednjeg dnevnog pravca vetra imala su mesta koja bliže ili dalje okružuju Beograd (Vršac, Veliko Gradište, Zrenjanin, Novi Sad, Smederevska Palanka i Kraljevo);

-najveća odstupanja od srednjeg dnevnog pravca vetra imala su mesta koja se nalaze na periferiji košavske oblasti (Palić, Kikinda, Valjevo, Kruševac, Ćuprija, Niš i Negotin).

Najjači udari košave iznad teritorije Srbije javljali su se u oblasti Vršca i Velikog Gradišta odakle su slabili ka oblastima Podunavlja i Pomoravlja. Prostorno maksimalan domet izotaha (linije koje povezuju mesta sa istom brzinom vetra) dostignut je u periodu maksimalnog intenziteta vetra (u Vršcu je zabeležen maksimum od 35 m/s) između 07 i 19 časova 17. oktobra 1976. godine. Sa jačanjem intenziteta vetar je postajao stalniji po pravcu.



**Tabela 6.** Dvanaest-časovne promene pritiska (mb) u košavskoj oblasti (Petrović, 1977).

| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16. X (07-19 h) | -1,4 | -0,7 | -1,4 | -1,3 | -0,6 | 0,3 | -0,1 | -2,5 | 0,5 | -1,0 | 0,2 | -2,5 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 4,5 | 1,5 |
| 16. X (19 h) - 17 X (07 h) | 0,6 | 1,0 | 0,2 | -0,3 | 1,4 | 0,1 | 0,1 | 1,6 | 1,1 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,0 | 0,2 | 0,1 | -1,2 | 3,1 | 2,0 |
| 17. X (07-19 h) | 4,1 | 3,3 | 4,6 | 4,8 | 3,8 | 4,4 | 4,8 | 2,3 | 2,5 | 4,3 | 4,0 | 3,1 | 3,4 | 2,7 | 2,6 | 0,7 | 0,0 | 1,3 |
| 17. X (19 h) - 18 X (07 h) | 1,5 | 2,3 | 2,6 | 3,1 | 1,9 | 1,1 | 2,0 | 3,2 | 0,0 | 0,0 | -0,5 | 2,7 | -0,1 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | -1,0 | -0,4 |
| 18. X (07-19 h) | 3,0 | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 2,2 | 2,0 | 1,6 | 2,6 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,0 | 2,4 | 2,4 | 1,0 | 1,2 | 1,9 |

BG-Beograd, NS-Novi Sad, SO-Sombor, VR-Vršac, ZR-Zrenjanin, KI-Kikinda, PA-Palić, SM-Sremska Mitrovica, VG-Veliko Gradište, KR-Kraljevo, SP-Smederevska Palanka, VA-Valjevo, ĆU-Ćuprija, KRU-Kruševac, NI-Niš, CV-Crni Vrh, NE-Negotin, ZA-Zaječar

**Tabela 7.** Uglovi pravca vetra u košavskoj oblasti u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine (Petrović, 1977).

a) 16. oktobar 1976. godine

| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ugao vetra (°) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maksimalan | 110 | 140 | 130 | 140 | 140 | 160 | 110 | 120 | 140 | 90 | 90 | 130 | 180 | 360 | 110 | 120 | 90 | - |
| Minimalan | 110 | 110 | 30 | 130 | 140 | 140 | 50 | 90 | 110 | 90 | 90 | 90 | 110 | 160 | 90 | 110 | 60 | - |
| Srednji | 110 | 125 | 102 | 132 | 140 | 147 | 90 | 96 | 118 | 90 | 90 | 115 | 139 | 326 | 93 | 115 | 68 | - |

b) 17. oktobar 1976. godine

| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ugao vetra (°) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maksimalan | 110 | 140 | 140 | 130 | 140 | 170 | 110 | 90 | 110 | 90 | 110 | 160 | 290 | 160 | 270 | 110 | 80 | - |
| Minimalan | 110 | 140 | 130 | 130 | 140 | 140 | 110 | 90 | 110 | 90 | 90 | 90 | 110 | 90 | 70 | 110 | 60 | - |
| Srednji | 110 | 140 | 131 | 130 | 140 | 158 | 110 | 90 | 110 | 90 | 100 | 109 | 151 | 120 | 110 | 110 | 68 | - |

c) 18. oktobar 1976. godine

| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ugao vetra (°) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maksimalan | 110 | 140 | 140 | 140 | 160 | 160 | 140 | 120 | 110 | 140 | 110 | 140 | 200 | 90 | 90 | 110 | 90 | - |
| Minimalan | 110 | 140 | 130 | 130 | 110 | 10 | 70 | 90 | 110 | 90 | 90 | 20 | 110 | 90 | 70 | 110 | 40 | - |
| Srednji | 110 | 140 | 136 | 132 | 141 | 97 | 104 | 98 | 110 | 98 | 100 | 112 | 155 | 90 | 75 | 110 | 70 | - |

## 3.4 Temperatura vazduha u košavskoj oblasti u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine

U tabeli 8 prikazane su tročasovne promene temperature vazduha izmerene na 18 glavnih meteoroloških stanica u košavskom području u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine. Iz tabele 8 se može videti da su se tokom posmatranog perioda javila dva talasa naglog otopljenja. Jedan je bio 16. oktobra 1976. godine u intervalu od 07 do 13 časova i prethodio je naglom padu temperature. Drugi je bio 18. oktobra 1976. godine u intervalu od 01 do 13 časova i javio se kao posledica prestanka jake košave.

Iz gore pomenute tabele može se uočiti da je 16. oktobra 1976. godine u intervalu od 13 do 19 časova u većini mesta košavske oblasti došlo do naglog pada temperature vazduha. Zapaženo je da je tročasovni pad u oblasti Vršca, Velikog Gradišta, Ćuprije i Negotina bio manji po intenzitetu od pada temperature u preostalom delu posmatrane košavske oblasti. Najveći pad temperature je zabeležen 16. oktobra u intervalu od 13 do 16 časova u centralnom delu košavske oblasti, a kasnije u intervalu od 16 do 19 časova po granici košavske oblasti. Može se zaključiti da je ukupan trodnevni pad temperature, kao posledica pojave košave, bio najveći u oblasti zapadno od Velike Morave i južno od Dunava. Najmanja razlika između maksimalne i minimalne temperature vazduha (10°C) uočena je u okolini Vršca.

Takođe je uočeno da se nagli pad temperature (16. oktobra u periodu od 13 do 16 časova) u centru košavske oblasti javljao istovremeno sa nailaskom izotahe od 10,0 m/s. Na periferiji košavske oblasti najveći tročasovni pad temperature (16. oktobra u periodu od 16 do 19 časova) je takođe bio praćen izotahom od 10,0 m/s. Sa prestankom košave došlo je do porasta temperature u čitavoj košavskoj oblasti.



**Tabela 8.** Tročasovne promene temperature u košavskoj oblasti (Petrović, 1977).

a) 16. oktobar 1976. godine

| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-04 | -0,7 | -1,2 | 1,0 | -1,9 | -1,2 | -0,8 | 0,5 | 0,4 | -0,4 | 0,8 | 0,2 | -0,7 | -1,4 | 0,2 | 0,1 | -2,2 | -1,1 | -1,6 |
| 04-07 | -0,8 | -0,6 | 0,8 | -0,2 | 0,2 | -0,8 | 1,1 | 0,4 | -1,0 | -1,1 | -1,3 | -0,9 | -1,2 | -1,6 | -0,6 | -1,5 | -0,5 | -1,0 |
| 07-10 | 2,3 | 1,8 | 0,0 | 0,3 | 1,7 | 2,5 | -0,6 | 0,8 | 0,0 | 0,3 | 2,7 | 4,7 | 1,4 | 2,2 | 2,6 | -0,5 | -0,6 | -0,6 |
| 10-13 | -0,3 | 0,8 | -0,2 | 0,4 | 1,1 | 0,2 | 1,0 | 2,7 | -0,3 | 1,6 | -0,8 | 1,8 | -0,6 | -1,1 | -0,3 | -0,8 | -0,8 | -0,6 |
| 13-16 | -3,0 | -3,7 | -0,6 | -1,9 | -4,0 | -2,2 | -0,1 | -3,9 | -1,9 | -2,9 | -3,0 | -0,6 | -1,4 | -2,5 | -2,8 | -1,1 | -1,0 | -0,9 |
| 16-19 | -2,3 | -2,8 | -3,0 | -1,0 | -2,2 | -2,8 | -2,4 | -3,0 | -0,9 | -2,5 | -2,0 | -3,2 | -1,1 | -1,3 | -0,7 | -1,4 | -1,4 | -1,3 |
| 19-22 | -2,3 | -2,5 | -1,7 | -1,1 | -2,4 | -1,5 | -2,2 | -1,8 | -1,6 | -1,1 | -2,4 | -2,3 | -1,9 | -1,5 | 0,0 | -1,7 | -0,5 | -1,6 |
| 22-01 | -1,5 | -1,2 | -1,9 | -1,8 | -1,2 | -2,2 | -1,1 | -1,3 | -1,7 | -1,5 | -1,9 | -0,8 | -0,7 | -2,3 | -3,2 | -1,6 | -1,5 | -1,6 |

b) 17. oktobar 1976. godine

| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-04 | -1,5 | -0,8 | -0,8 | -1,5 | -0,7 | 0,1 | -1,2 | 0,0 | -0,8 | -2,1 | -1,5 | -0,7 | -1,6 | -2,3 | -0,5 | -0,8 | -0,7 | -1,3 |
| 04-07 | -0,4 | -1,0 | -0,9 | 0,1 | -0,4 | -0,8 | -0,4 | -2,0 | 0,0 | -1,2 | -0,2 | -1,4 | -0,8 | 0,0 | -0,1 | -0,7 | -0,3 | 0,0 |
| 07-10 | 0,0 | -0,6 | -0,6 | -0,2 | -0,8 | -0,6 | -1,2 | -0,1 | -0,2 | 0,1 | 0,2 | -0,6 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | -0,3 | -0,1 | -0,8 |
| 10-13 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,7 | -0,7 | 0,4 | -1,6 | 0,1 | 0,2 | 0,8 | -0,2 | -0,4 | -0,4 |
| 13-16 | -1,4 | -0,3 | -0,3 | -0,7 | -0,8 | -0,8 | -0,4 | -1,4 | -0,7 | -0,9 | -1,6 | 0,0 | -0,9 | -0,6 | -2,4 | -0,1 | -0,3 | -0,4 |
| 16-19 | -0,6 | -0,4 | -0,1 | -0,5 | 0,2 | 0,2 | -0,5 | -1,0 | -0,8 | -1,3 | -0,2 | -0,8 | -1,4 | -1,5 | -1,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| 19-22 | -0,5 | -0,5 | -1,1 | 0,6 | -0,7 | -0,6 | 0,0 | -0,7 | 0,2 | -0,1 | 0,0 | -1,0 | 0,4 | -0,1 | -1,4 | 0,5 | 0,4 | 0,5 |
| 22-01 | 1,6 | 0,9 | -0,3 | 0,2 | 1,5 | 0,6 | - 0,4 | -0,1 | 1,0 | 0,5 | -0,1 | -0,3 | 0,9 | 0,7 | -0,5 | 1,1 | 0,9 | 0,4 |

c) 18. oktobar 1976. godine

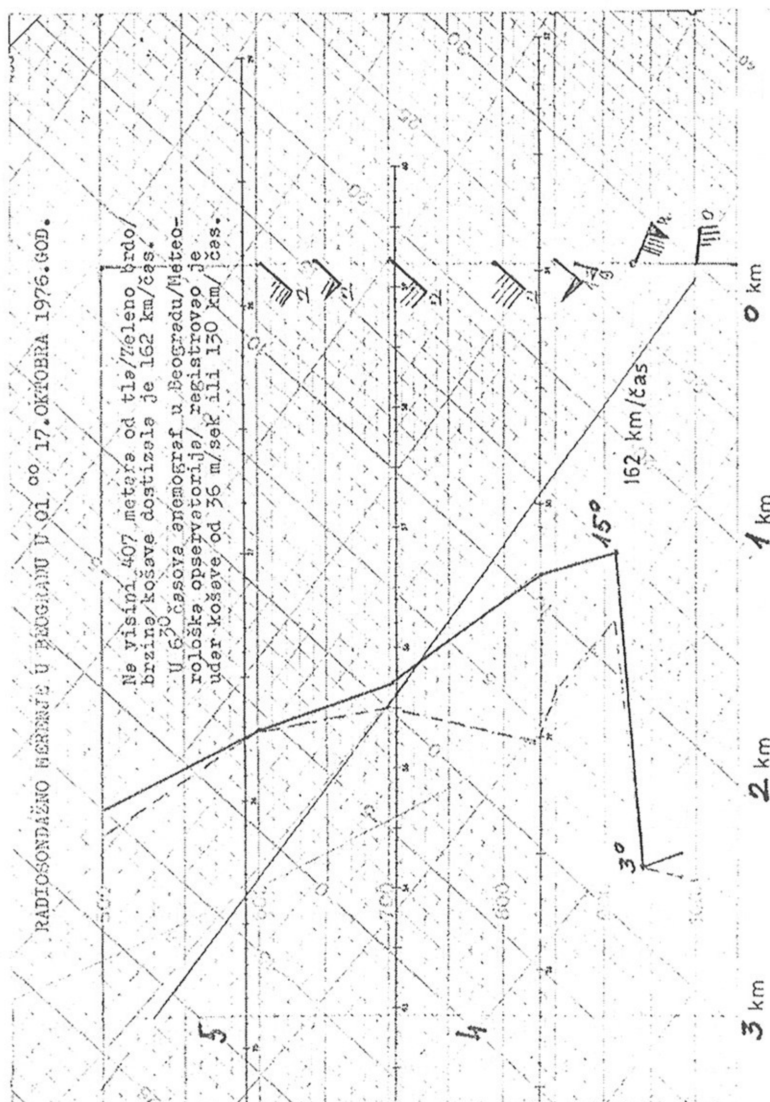
| Met. stanica ⇒ | BG | NS | SO | VR | ZR | KI | PA | SM | VG | KR | SP | VA | ĆU | KRU | NI | CV | NE | ZA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-04 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,0 | 0,2 | 0,8 | 1,4 | 0,2 | 0,6 | 1,5 | 0,7 | 0,0 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | -0,2 |
| 04-07 | -0,3 | 0,2 | 0,8 | -1,5 | -1,2 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | -0,6 | 0,6 | 1,0 | 0,1 | 1,6 | 0,6 | 1,0 | -0,1 | -2,4 | 0,1 |
| 07-10 | 1,9 | 0,4 | 0,4 | 2,0 | 1,2 | 0,3 | 0,6 | 1,6 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 1,7 | 0,6 | 0,8 | 2,1 | 0,5 | 2,6 | 1,1 |
| 10-13 | 1,4 | 1,7 | 0,9 | 0,4 | 1,8 | 2,5 | 1,4 | 1,8 | 1,8 | 0,4 | 0,3 | 1,6 | 1,0 | 0,6 | 0,7 | 0,1 | 0,8 | 0,5 |
| 13-16 | -1,2 | -0,6 | 0,1 | -0,7 | -0,6 | -1,0 | 0,0 | -0,2 | -1,2 | -0,8 | -1,1 | -1,2 | -1,1 | -1,2 | -1,8 | -0,1 | -0,5 | -0,2 |
| 16-19 | -1,2 | -0,9 | -0,6 | -0,1 | -0,8 | -1,4 | -0,9 | -1,6 | 0,1 | -0,5 | -0,9 | -0,8 | -1,7 | 0,2 | -1,9 | -0,1 | -0,1 | -0,1 |
| 19-22 | -0,3 | -0,5 | -0,7 | -1,1 | -0,2 | -0,6 | -0,6 | -0,5 | -0,6 | -0,2 | 0,3 | -0,9 | 0,0 | 0,0 | -0,5 | -0,4 | -0,3 | -0,7 |

Na osnovu radiosondažnih podataka o atmosferi iznad Beograda (u 01 i 13 časova) u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine Petrović (1977) je ukazala na sledeće:

-16. oktobra 1976. godine u 01 čas postojala je temperaturska inverzija (porast temperature sa visinom) do visine od 820 m, dok se u 13 časova inverzija podigla i zauzela sloj visine od 620 do 930 m.

-17. oktobra 1976. godine u 01 čas (slika 8) vrlo izražena inverzija (5°C/100 m) prostirala se u sloju visine od 600 do 900 m usled prodora hladnog

vazduha u plitkom prizemnom sloju i jakog smicanja vetra na nivou od oko 910 mb dok se u 13 časova inverzija podigla i nalazila se u sloju od 760 do 1370 m, što su pokazali i Vojnović Kljaić i Popović (1978).




**Slika 8.** Radiosondažno merenje u Beogradu u 01 čas, 17. oktobra 1976. god. (Vojnović Kljaić i Popović, 1978)



-18. oktobra 1976. godine temperaturska inverzija intenziteta 3°C/100 m prostirala se u sloju visine od 550 do 910 m (SE vetar je registrovan do visine od 3000 m), dok su se u 13 časova javile dve inverzije: jedna između visina od 550 do 1150 m, a druga između visina od 1340 do 1470 m (SE vetar je registrovan do visine od 1100 m).

## 3.5 Padavine u košavskoj oblasti u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine

U periodu od 19 časova 16. oktobra 1976. godine do 01 časa 17. oktobra 1976. godine zabeležene su padavine u čitavoj košavskoj oblasti.

Sa slike 9 se može videti da su izohijete (linije koje povezuju iste vrednosti padavina) orijentisane u pravcu NE-SW, tj. normalno na pravac osnovnog strujanja vazduha. Od SE ka NW količina padavina je opadala sve do Kraljeva, Ćuprije, Vršca i Velikog Gradišta, kao posledica spuštanja vazduha. Količine padavina su zatim rasle prema Zrenjaninu, Novom Sadu i Sremskoj Mitrovici, pa se opet smanjivale prema Somboru i Paliću. Sličan raspored padavina sa naizmeničnim porastima i padovima osmotrio je i Flöhn (Radinović, 1979) u vezi sa intertropskim frontom (zamišljena linija koja deli dve vazdušne mase) iznad Atlantika, objašnjavajući to dinamikom polja vetra.

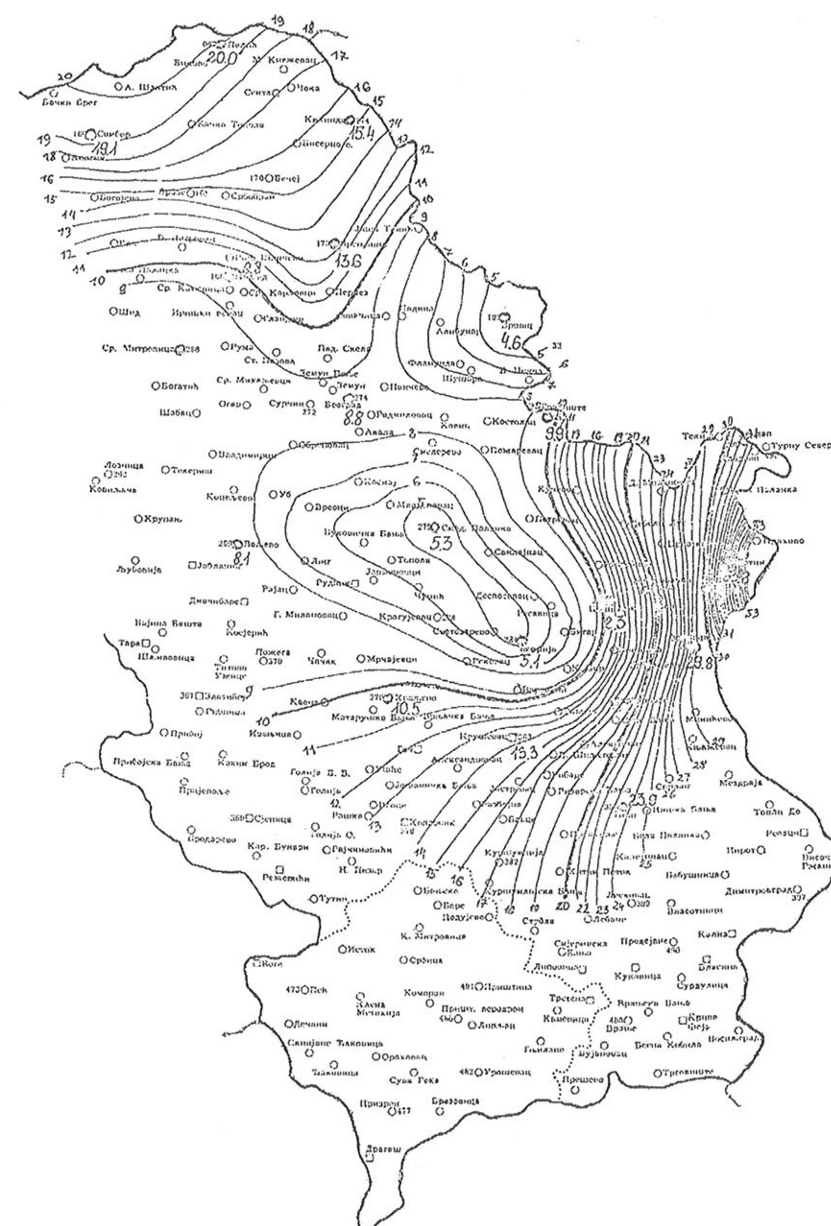
U periodu od 01 do 07 časova 17. oktobra 1976. godine padavine su bile skoncentrisane na oblast Homolja opadajući ka zapadu, dok je u Pomoravlju i Podunavlju bilo suvo vreme što je ukazivalo na početak kulminacije košave. U periodu od 07 do 13 časova 17. oktobra 1976. godine minimum padavina je registrovan u oblasti najjačeg vetra (Vršac, Veliko Gradište i Beograd) i iznosio je 1 mm, dok je idući prema severu količina padavina rasla.

Sa jačanjem košave se količina padavina smanjivala. Tako je u periodu od 13 do 19 časova 17. oktobra 1976. godine najmanje padavina bilo u Vršcu (0,2 mm) i u oblasti Zaječara, Crnog Vrha i Niša (do 1,0 mm), dok je u Beogradu izmereno nešto više tj., 3,6 mm.



**Slika 9**. Količine padavina (mm) u košavskoj oblasti u periodu od 16. oktobra (19 časova) do 17. oktobra (01 čas) 1976. godine (Petrović, 1977).





**Slika 10**. Količine padavina (mm) u košavskoj oblasti izmerene u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. godine (Petrović, 1977).

Na slici 10, na kojoj su prikazane ukupne trodnevne padavine, je evidentno da je najmanje padavina (od 5,0 do 10,0 mm) izmereno u oblasti koja obuhvata Vršac, Beograd, Sremsku Mitrovicu, Valjevo, Ćupriju i Veliko Gradište tj., oblast sa najjačom košavom (slika 11).



**Slika 11**. Izohrone (mesta sa istim časovnim vrednostima brzine) izotahe (mesta sa istim vrednostima brzine) 20 m/s (Petrović, 1977).



Prema severu i istoku količina padavina se povećavala i dostigla je maksimalnu vrednost u Negotinu (53,8 mm). Ovakav raspored padavina je posledica postojeće orografije, dok se porast padavina na severu može objasniti smanjenjem fenskog efekta vetra košave u postojećoj ciklonalnoj situaciji.

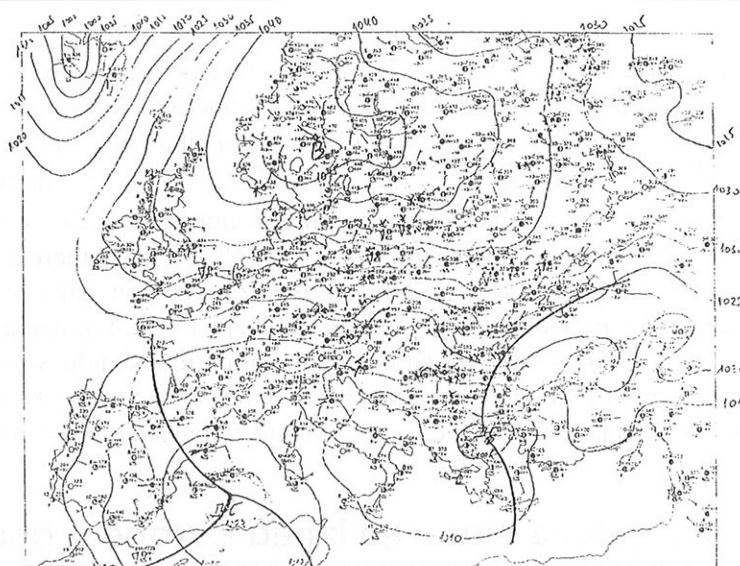
Tokom analize posmatrane košavske situacije od 16. do 18. oktobra 1976. godine zapaženo je da su oblasti sa konstantnim pravcem vetra istovremeno i oblasti sa najjačim vetrom, što ukazuje da će u toj oblasti biti izmerene najmanje padavine. Međutim, 17. oktobra 1976. godine izmerene su najveće padavine tokom trodnevnog perioda pojave košave, kada je bila kulminacija sistema. Pošto su u posmatranoj košavskoj situaciji analizirani maksimalni časovni udari vetra koji su kratkog trajanja, to su se padavine 17. oktobra 1976. godine verovatno izlučile u periodima slabijeg vetra između maksimalnih udara.

## 3.6 Sinoptička situacija iznad Evrope u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine

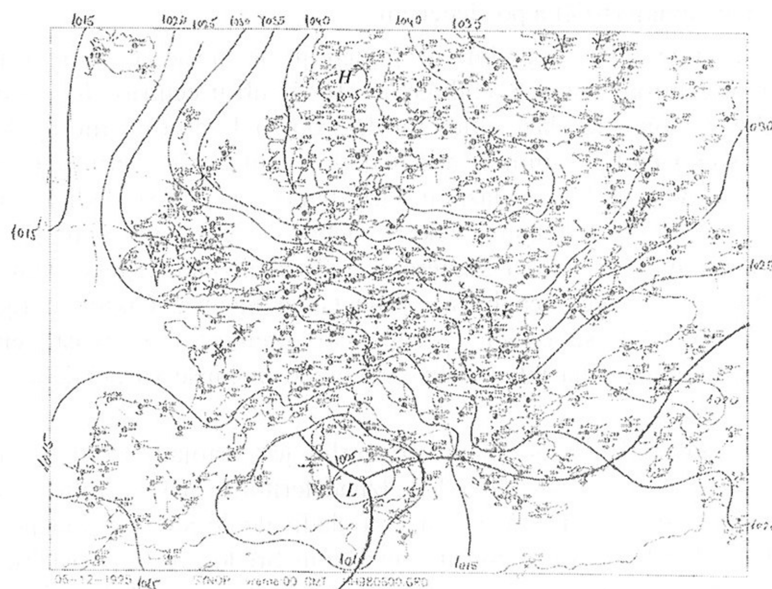
Sinoptička situacija iznad Evrope u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine bila je karakteristična po sledećem:

-05. decembra 1995. godine u prizemlju je postojao veoma razvijen anticiklon sa centrom iznad Skandinavije (1045 mb u centru). Jugoistočno od naše zemlje postojao je slab ciklon sa centrom u Egejskom moru, dok se u zapadnom Sredozemlju formirao mladi ciklon (slika 12). Teritorija Srbije se nalazila u relativno toplom i vlažnom vazduhu, kada je preovlađivalo oblačno vreme praćeno slabim snegom. Tokom sledećih 12 časova anticiklon se iz oblasti Skandinavije proširio i pomerio na SE obuhvatajući tako celu Evropu osim Sredozemlja i veći deo bivšeg Sovjetskog Saveza. Ciklon u Egejskom moru se ugasio, dok se ciklon iz zapadnog premestio u oblast centralnog Sredozemlja dobijajući na intenzitetu (zatvorene izohipse su očigledne na 500 mb nivou).

-06. decembra 1995. godine u prizemlju je postojao razvijen ciklon sa centrom u Tirenskom moru (slika 13). Iznad teritorije naše zemlje izobare su bile orijentisane u pravcu NW-SE, a preovlađivalo je suvo i oblačno vreme. Tokom sledećih 12 časova ciklon u centralnom Sredozemlju je oslabio, što je imalo za posledicu pad gradijenta pritiska iznad teritorije Srbije i slabljenje košave.



**Slika 12**. Prizemna sinoptička situacija iznad Evrope 05. decembra 1995. godine (00 časova SEV).



**Slika 13**. Prizemna sinoptička situacija iznad Evrope 06. decembra 1995. godine (00 časova SEV).



## 3.7 Vetar u košavskoj oblasti u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine

Posmatrajući pravac vetra tokom dva dana pojave košave (tabela 9) možemo zaključiti da je:

-Beograd jedino mesto sa konstantnim pravcem vetra u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine, pa se kao i u prethodnom slučaju pojave košave, može smatrati centrom košavske oblasti;

-najmanja odstupanja od srednjeg dnevnog pravca vetra imala su mesta koja se nalaze najbliže Beogradu (Rimski Šančevi, Banatski Karlovac, Zrenjanin, Bečej, Kikinda,Vršac,Veliko Gradište i Smederevska Palanka);

-najveća odstupanja od srednjeg dnevnog pravca vetra imala su mesta koja se nalaze na periferiji košavske oblasti (Palić, Kragujevac, Ćuprija, Kruševac, Negotin, Zaječar, Niš i Dimitrovgrad).

Interesantno je napomenuti da se drugog dana košava proširila dopirući na sever do Palića, a na jug do Ćuprije. Istovremeno sa zahvatanjem veće površine, košava je dobila na intenzitetu tako da se srednja brzina vetra iz košavskog pravca 06. decembra 1995. godine kretala od 5,5 m/s u Bečeju do 11,5 m/s koliko je izmereno u Vršcu i Velikom Gradištu.

Najjači udari košave iznad teritorije Srbije zabeleženi su 06. decembra 1995. godine u trouglu između Vršca, Beograda i Velikog Gradišta odakle su slabili ka oblastima Pomoravlja i Podunavlja. Drugog dana duvanja košave sa jačanjem intenziteta, vetar je postajao stalniji po pravcu (tabela 9). Kao i u slučaju frontalne košave, najjači udari su iznosili 28 m/s i izmereni su 06. decembra između 16 i 17 časova u Vršcu.

## 3.8 Temperatura vazduha u košavskoj oblasti u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine

U tabeli 10 prikazane su šest-časovne promene temperature vazduha izmerene na 18 meteoroloških stanica u košavskom području u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine.

**Tabela 9**. Uglovi pravca vetra u košavskoj oblasti u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine.

a) 05. decembar 1995. godine

| Met. stanica ⇒ | PA | KI | BE | ZR | RŠ | BK | VR | BG | VG | SP | KG | ĆU | KR | CV | NE | ZA | NI | DI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ugao vetra (°) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maksimalan | 140 | 160 | 140 | 140 | 140 | 140 | 180 | 120 | 160 | 140 | 50 | 270 | 100 | - | 90 | 50 | 110 | 230 |
| Minimalan | 30 | 20 | 40 | 50 | 110 | 110 | 60 | 120 | 140 | 90 | 0 | 30 | 80 | - | 70 | 30 | 70 | 90 |
| Srednji | 95 | 102 | 115 | 102 | 125 | 132 | 132 | 120 | 145 | 112 | 38 | 155 | 90 | - | 80 | 45 | 85 | 110 |

PA-Palić, KI-Kikinda, BE-Bečej, ZR-Zrenjanin, RŠ-Rimski Šančevi, BK-Banatski Karlovac, VR-Vršac, BG-Beograd, VG-Veliko Gradište, SP-Smederevska Palanka, KG-Kragujevac, ĆU-Ćuprija, KR-Kruševac, CV-Crni Vrh, NE-Negotin, ZA-Zaječar, NI-Niš, DI-Dimitrovgrad

b) 06. decembar 1995. godine

| Met. stanica ⇒ | PA | KI | BE | ZR | RŠ | BK | VR | BG | VG | SP | KG | ĆU | KR | CV | NE | ZA | NI | DI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ugao vetra (°) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maksimalan | 110 | 160 | 140 | 140 | 140 | 140 | 160 | 120 | 140 | 110 | 110 | 160 | 100 | - | 80 | 50 | 70 | 100 |
| Minimalan | 90 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 140 | 120 | 140 | 110 | 70 | 160 | 70 | - | 80 | 50 | 70 | 0 |
| Srednji | 105 | 142 | 125 | 125 | 128 | 132 | 150 | 120 | 140 | 110 | 95 | 160 | 83 | - | 80 | 50 | 70 | 65 |

**Tabela10**.Šest-časovne promene temperature vazduha (°C) u košavskoj oblasti u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine.

a) 05. decembar 1995. godine

| Met. stanica ⇒ | PA | KI | BE | ZR | RŠ | BK | VR | BG | VG | SP | KG | ĆU | KR | CV | NE | ZA | NI | DI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-07 | -0,8 | -1,9 | 0,0 | 0,0 | -0,4 | -1,2 | -1,5 | -0,4 | -1,8 | -1,2 | 0,0 | -0,6 | -1,2 | -2,0 | -2,2 | -1,9 | -0,8 | -0,6 |
| 07-13 | -0,2 | 0,0 | -0,6 | -0,8 | -0,7 | -0,2 | 0,8 | -0,6 | -0,8 | 1,1 | 2,4 | 0,9 | 0,5 | -0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 0,9 |
| 13-19 | -0,5 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | -0,2 | -0,2 | 0,9 | -0,1 | -1,5 | -2,7 | -1,9 | -1,1 | -1,2 | -1,4 | -1,0 | -1,3 | -2,5 |

b) 06. decembar 1995 godine

| Met. stanica ⇒ | PA | KI | BE | ZR | RŠ | BK | VR | BG | VG | SP | KG | ĆU | KR | CV | NE | ZA | NI | DI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-07 | -0,5 | -0,7 | -0,4 | -0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | -0,3 | -0,3 | -0,3 | -1,2 | -0,7 | -0,6 | -0,4 | -0,5 | -0,2 | 0,6 | 2,5 |
| 07-13 | 0,4 | 1,0 | 0,9 | 1,6 | 0,7 | 1,8 | 0,7 | 1,5 | 0,8 | 2,5 | 2,4 | 1,9 | 1,8 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 3,6 | 3,3 |
| 13-19 | 0,9 | 0,7 | -0,2 | -0,5 | -1,4 | -1,0 | 1,5 | -0,8 | 0,1 | -0,8 | -0,8 | -0,5 | -0,4 | -0,3 | -0,1 | 0,0 | -0,3 | -1,1 |



Kao što se iz tabele 10 može videti, na početku duvanja košave 05. decembra 1995. godine u periodu od 01 do 07 časova u svim mestima u košavskoj oblasti temperatura je opala. Zapaža se da je šest-časovni pad temperature u oblasti Kikinde, Banatskog Karlovca, Vršca, Velikog Gradišta, Smederevske Palanke, Kruševca, Crnog Vrha, Negotina i Zaječara bio veći po intenzitetu od pada temperature u preostalom delu košavske oblasti.

Sa jačanjem intenziteta vetra, došlo je do postepenog porasta temperature i to prvo 05. decembra 1995. godine u periodu od 13 do 19 časova u Bečeju, Zrenjaninu, Rimskim Šančevima i Beogradu, a zatim 06. decembra 1995. godine u Rimskim Šančevima, Banatskom Karlovcu, Vršcu, Nišu i Dimitrovgradu u periodu od 01 do 07 časova. Šestog decembra 1995. godine u periodu od 07 do 13 časova u svim mestima u košavskoj oblasti došlo je do porasta temperature vazduha. Interesantno je da je šest-časovni porast temperature vazduha bio manji po intenzitetu u centru nego na obodu košavske oblasti. Navedena činjenica se može objasniti porastom srednjih brzina vetra u centru košavske oblasti, koje su se 06. decembra 1995. godine u pomenutom vremenskom periodu kretale u intervalu od 7 do 13 m/s (slika 14). Porast temperature se zadržao istog dana i u vremenskom periodu od 13 do 19 časova i to u Paliću, Kikindi, Vršcu i Velikom Gradištu, dok je u preostalom, većem delu košavske oblasti temperatura vazduha bila u padu.

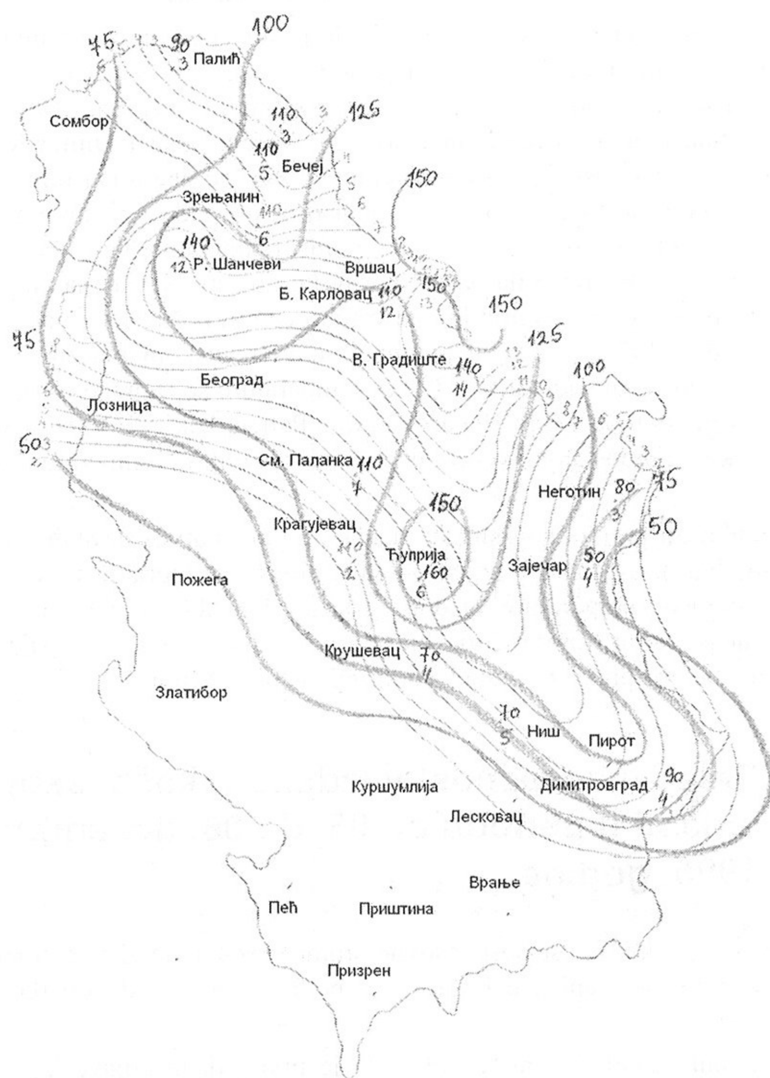
Za razliku od prethodnog slučaja, kada smo posmatrali frontalnu i hladnu košavu (tipa bure), ovaj slučaj pojave košave bio je karakterističan po odsustvu padavina i porastu temperature vazduha u košavskoj oblasti. To znači da smo analizirali nefrontalnu košavu (tipa fena) koja je bila uslovljena adijabatskim spuštanjem vazduha preko Karpata ka području istočne Srbije.

## 3.9 Relativna vlažnost vazduha u košavskoj oblasti u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine

U tabeli 11 prikazane su šest-časovne promene relativne vlažnosti izmerene na 18 meteoroloških stanica u košavskom području u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine.

Iz pomenute tabele se može videti da je prvog dana pojave košave (05. decembar 1995. godine) zabeležen pad relativne vlažnosti skoro u celoj košavskoj oblasti. U vremenskom periodu od 07 do 13 časova najveći pad

relativne vlažnosti (od 13 do 21%) zabeležen je u mestima sa izrazitim porastom temperature vazduha (Vršac, Smederevska Palanka, Kragujevac, Ćuprija i Kruševac) i umerenom košavom (od 3 do 8 m/s). Istog dana, u vremenskom intervalu od 13 do 19 časova pad relativne vlažnosti je bio izražen u Bečeju, Zrenjaninu, Banatskom Karlovcu, Beogradu i Velikom Gradištu.




**Slika 14.** Srednje časovne brzine (tanka linija) i pravac vetra (deblja linija) u košavskoj oblasti u 13 časova 06. decembra 1995. god.



Interesantno je napomenuti da se sa jačanjem košave 06. decembra 1995. godine pad relativne vlažnosti smanjivao u celoj košavskoj oblasti i u periodu od 13 do 19 časova samo je na teritoriji Vojvodine registrovan suvlji vazduh, dok je u ostalim mestima košavske oblasti zabeležen porast relativne vlažnosti (od 2 do 7%).

**Tabela 11.** Šest-časovne promene relativne vlažnosti (%) u košavskoj oblasti u periodu od 05. do 06. decembra 1995. godine.

a) 05. decembar 1995. godine

| Met. stanica ⇒ | PA | KI | BE | ZR | RŠ | BK | VR | BG | VG | SP | KG | ĆU | KR | CV | NE | ZA | NI | DI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-07 | 1 | 0 | 1 | -2 | 2 | 8 | -2 | 6 | 11 | 1 | -1 | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -2 | 2 |
| 07-13 | -2 | -2 | -6 | 2 | -6 | -5 | -14 | -7 | 1 | -13 | -21 | -15 | -13 | 2 | 0 | -4 | -9 | -1 |
| 13-19 | -10 | -3 | -20 | -19 | -3 | -15 | 0 | -11 | -12 | 7 | 11 | 3 | 1 | -1 | -1 | 3 | -3 | -4 |

b) 06. decembar 1995. godine

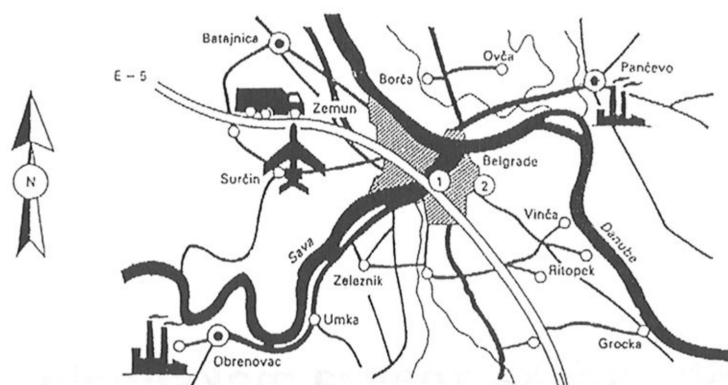
| Met. stanica ⇒ | PA | KI | BE | ZR | RŠ | BK | VR | BG | VG | SP | KG | ĆU | KR | CV | NE | ZA | NI | DI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Termin (časovi) ⇓ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01-07 | -2 | 7 | -2 | 3 | 2 | -3 | 0 | -3 | -2 | -3 | 2 | -2 | -1 | 1 | -1 | 0 | -5 | -1 |
| 07-13 | 11 | 6 | 5 | -7 | -10 | -9 | -5 | -6 | 0 | -5 | -7 | -8 | -4 | 0 | 3 | -2 | -4 | -7 |
| 13-19 | -13 | -12 | -5 | -1 | -1 | 0 | -2 | 6 | 3 | 4 | 3 | 7 | 3 | 0 | 0 | 2 | 4 | 6 |

# 4 Statistička analiza maksimalnih brzina i faktora udarnosti vetra košave u Beogradu

## 4.1 Korišćeni podaci

Za analizu maksimalnih brzina i faktora udarnosti vetra košave korišćeni su podaci vetra izmereni na dve meteorološke stanice: Beograd-Opservatorija i Beograd-Zeleno Brdo u periodu najčešće pojave vetra košave tj., od 1971. do 1975. godine. Kao što je poznato, meteorološka stanica Beograd-Opservatorija locirana je u užem centru grada (sa visinom anemometra od 24 m, označena sa 1 na slici 15), a stanica Beograd-Zeleno Brdo nalazila se oko 6 km jugoistočno od centra grada ( $H$ =243 m sa visinom anemometra od 18 m, označena sa 2 na slici 15). Treba napomenuti da je meteorološka stanica Beograd-Opservatorija tipična gradska stanica, dok se stanica Beograd-Zeleno-Brdo u pomenutom petogodišnjem periodu ispitivanja nalazila na samom obodu grada pa je imala karakter prigradske stanice.

Meteorološka stanica Beograd-Opservatorija je sa zapada, severa i istoka zaklonjena visokim zgradama, dok je prema jugoistoku skoro potpuno otvorena. Pod uticajem okolnih zgrada vetar iz košavskog pravca dobija uzlaznu komponentu, čime gubi na jačini. To znači da su srednje brzine vetra košave izmerene na stanici Beograd-Opservatorija manje nego na stanici Beograd-Zeleno Brdo, koja se nalazila skoro u neporemećenoj atmosferi i na nadmorskoj visini većoj za 111 m u odnosu na stanicu Beograd-Opservatorija.




**Slika 15**. Lokacije meteoroloških stanica u Beogradu: Meteorološka Opservatorija na Vračaru ① i Aerološka Opservatorija na Zelenom Brdu ②.

## 4.2 Statistička analiza maksimalnih brzina vetra košave

Statistička analiza maksimalnih dnevnih brzina vetra u danima sa pojavom košave u Beogradu u periodu od 1971. do 1975. godine rađena je primenom sledećih funkcija gustine raspodele (FGR):

(a) $f(x)=\dfrac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\dfrac{(\ln x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$, dvoparametarske lognormalne raspodele sa parametrima $\mu$ i $\sigma$;

(b) $f(x)=\dfrac{a}{b}\left(\dfrac{x-c}{b}\right)^{a-1}\exp\left(-\left(\dfrac{x-c}{b}\right)^{a}\right)$, troparametarske Vejbulove (Weibull) raspodele sa parametrima $a,b$ i $c$;

(c) $f(x)=\dfrac{a^a}{\mu\Gamma(a)}\left(\dfrac{x}{\mu}\right)^{a-1}\exp\left(-\dfrac{ax}{\mu}\right)$, dvoparametarske Gama (Gamma) raspodele sa parametrima $a$ i $\mu$;

(d) $f(x)=\alpha\exp\{-\alpha(x-\beta)-\exp[-\alpha(x-\beta)]\}$, dvoparametarske Gumbelove (Gumbel) raspodele sa parametrima $\alpha$ i $\beta$.

Dobijeni rezultati za meteorološke stanice Beograd-Zeleno Brdo i Beograd-Opservatorija, tj., empirijski i teorijski $\chi_n^2$ testovi za korišćene funkcije gustine

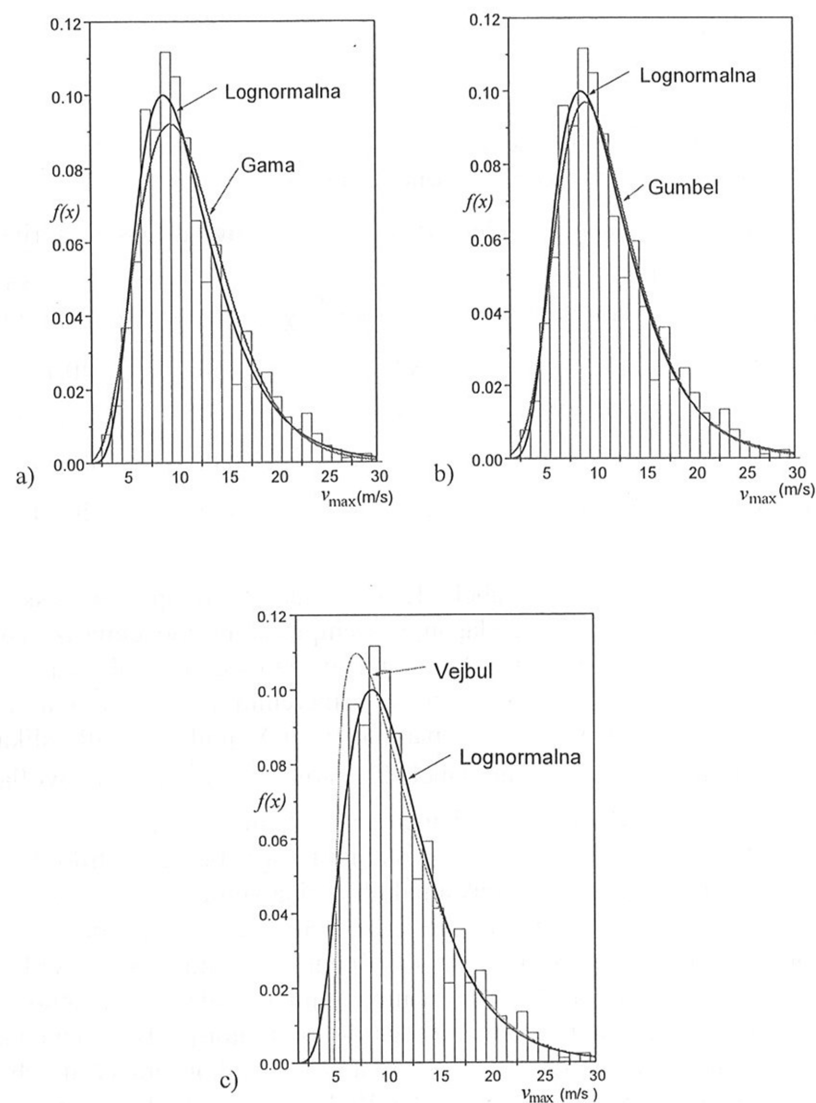


raspodele (sa $\alpha$=0,05 stepeni slobode) pokazani su u tabeli 12 (Mališić i Unkašević, 1997).

**Tabela 12**. Empirijski $\chi_n^2$ i teorijski $\chi^2_{n,\alpha=0,05}$ statistički testovi za odabrane funkcije gustine raspodele u danima sa košavom u Beogradu u periodu od 1971. do 1975. godine.

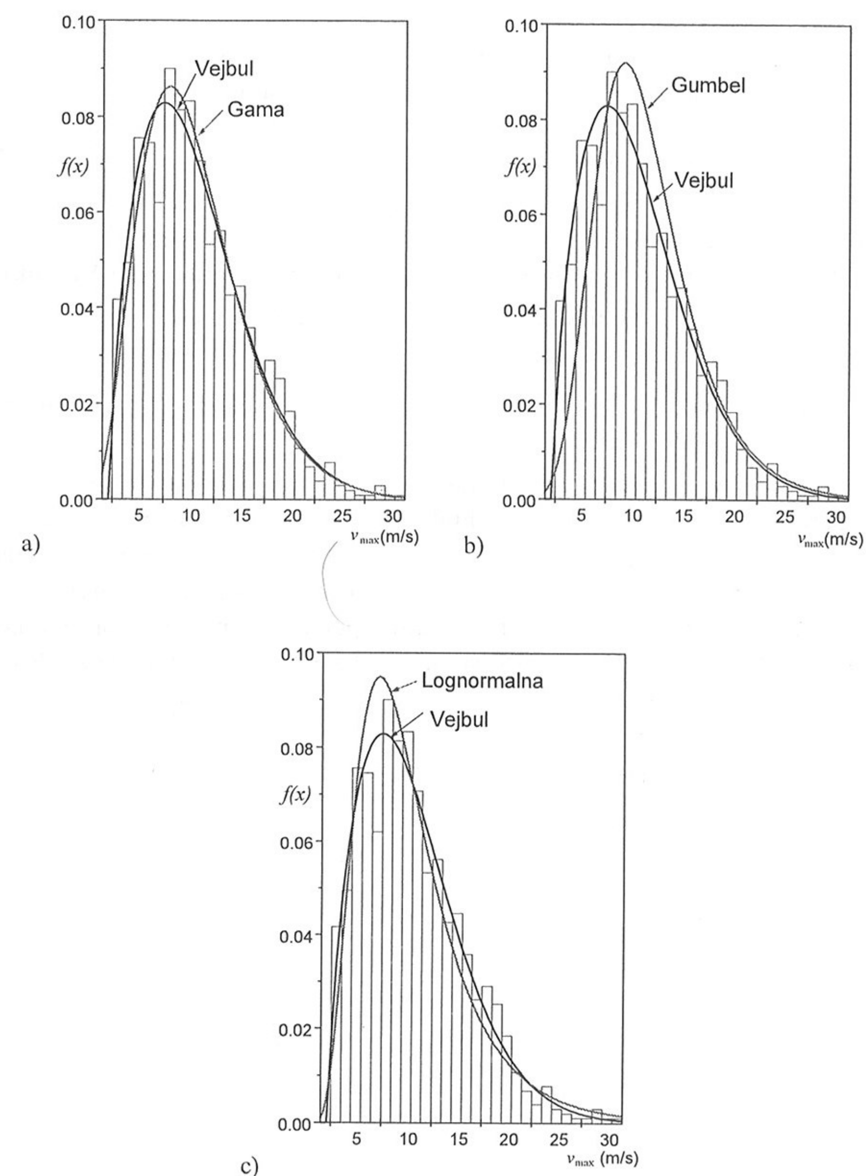
| Teorijske funkcije gustine raspodele $f(x)$ | Beograd-Zeleno Brdo | | Beograd-Opservatorija | |
|---|---|---|---|---|
| | Empirijska $\chi_n^2$ statistika | Teorijska $\chi^2_{n;0,05}$ statistika | Empirijska $\chi_n^2$ statistika | Teorijska $\chi^2_{n;0,05}$ statistika |
| Lognormalna | 31,754 | 38,885 | 62,354 | 40,113 |
| Vejbulova | 163,796 | 37,652 | 25,405 | 38,885 |
| Gama | 45,924 | 38,885 | 35,080 | 40,113 |
| Gumbelova | 32,603 | 38,885 | 57,075 | 40,113 |

Kao što se može videti iz tabele 12 i sa slike 16 dvoparametarska log-normalna FGR pokazuje najbolje slaganje sa empirijskim podacima izmerenim na stanici Beograd-Zeleno Brdo. Međutim, ustanovljeno je da za stanicu Beograd-Opservatorija najbolje slaganje sa izmerenim podacima o trenutnoj maksimalnoj brzini vetra pokazuje troparametarska Vejbulova FGR (slika 17, Unkašević i saradnici, 2002). Prema tabeli 12 uslov $\chi_n^2 \le \chi^2_{n,\alpha=0,05}$ zadovoljavaju takođe i Gumbelova FGR za podatke izmerene na stanici Beograd-Opservatorija kao i Gama FGR za podatke izmerene na stanici Beograd-Zeleno Brdo. Uočeno neslaganje u opisivanju trenutnih maksimalnih brzina vetra iz košavskog pravca posledica je urbanog uticaja na strujanje vazduha na mestu Beograd-Opservatorija. Naime, meteorološka stanica Beograd-Zeleno Brdo nalazila se u proučavanom periodu (1971-1975) na samoj granici grada i na znatno većoj nadmorskoj visini u odnosu na stanicu Beograd-Opservatorija. To znači da se za opisivanje trenutnih maksimalnih brzina vetra iz košavskog pravca u urbanim sredinama može primeniti troparametarska Vejbulova FGR, dok se u slučaju skoro neporemećene atmosfere može uspešno primeniti dvoparametarska lognormalna FGR, što je ustanovljeno i kod drugih autora (Takle and Brown, 1978; Labraga, 1994; Nof and Paldor, 1994).




**Slika 16**. Poređenje dvoparametarske lognormalne sa: a) Gama, b) Gumbelovom i c) troparametarskom Vejbulovom FGR i empirijskim histogramima relativne učestanosti trenutnih maksimalnih brzina vetra izmerenih na stanici Beograd-Zeleno Brdo u periodu od 1971. do 1975. godine.





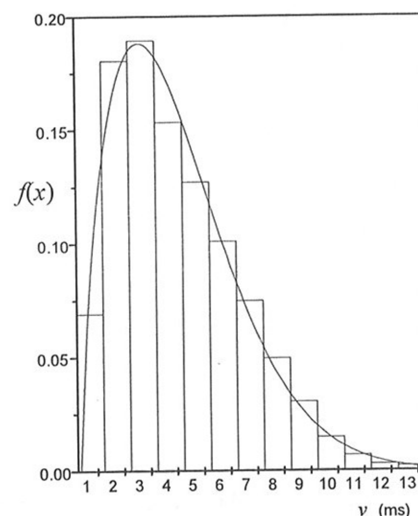

**Slika 17**. Poređenje troparametarske Vejbulove sa: a) Gama, b) Gumbelovom i c) dvoparametarskom lognormalnom FGR i empirijskim histogramima relativne učestanosti trenutnih maksimalnih brzina vetra izmerenih na stanici Beograd-Opservatorija u periodu od 1971. do 1975. godine.

Najveće relativne učestanosti trenutnih maksimalnih brzina košave za stanicu Beograd-Zeleno Brdo osmotrene su u intervalu brzina od 8,5 do 9,5 m/s (slika 16), a za stanicu Beograd-Opservatorija u intervalu brzina od 7,5 do 8,5 m/s (slika 17). Međutim, srednje časovne brzine vetra pokazuju najveće relativne učestanosti u intervalu brzina od 3,0 do 4,0 m/s (slika 18).

Takođe je ustanovljeno da se i srednje časovne brzine vetra, u času osmotrenih trenutnih maksimalnih brzina vetra iz košavskog pravca na stanici Beograd-Opservatorija, mogu dobro opisati pomoću troparametarske Vejbulove raspodele (slika 18). U ovom slučaju je takođe zadovoljen uslov $\chi_n^2 \leq \chi_{n,\alpha=0,05}^2$ tj., 12,740 < 16,919.

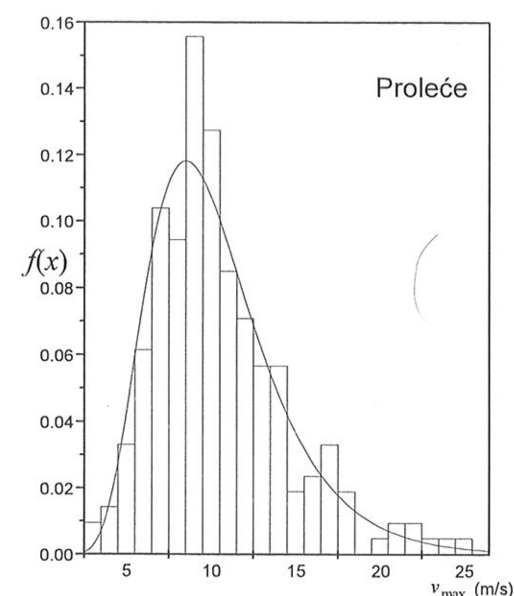
Empirijske i teorijske statistike vetra košave po sezonama u Beogradu-Opservatorija (1971-1975) predstavljene su u tabeli 13.

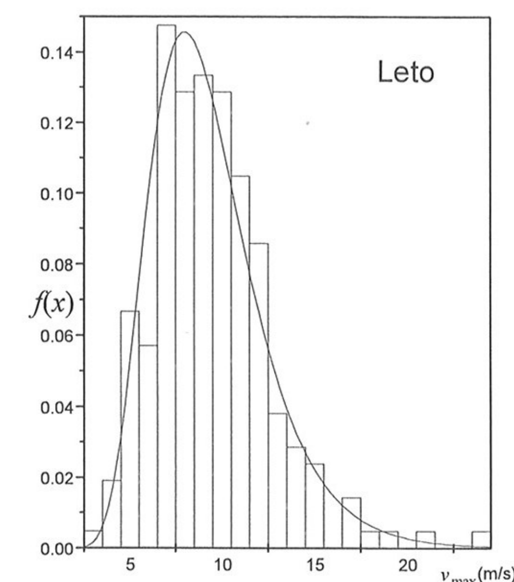
Primenjujući već navedene četiri funkcije gustine raspodele dobijeno je da se dvoparametarska lognormalna FGR najbolje prilagođava trenutnim maksimalnim brzinama vetra u svim sezonama izmerenim na stanici Beograd-Zeleno Brdo (slika 19). Međutim, na stanici Beograd-Opservatorija utvrđeno je da se, u toploj polovini godine, empirijskim podacima najbolje prilagođava Gama, a u hladnoj polovini godine troparametarska Vejbulova FGR (slika 20).

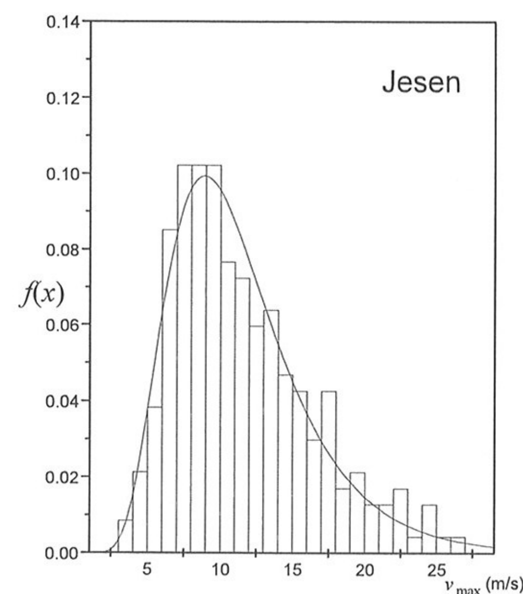


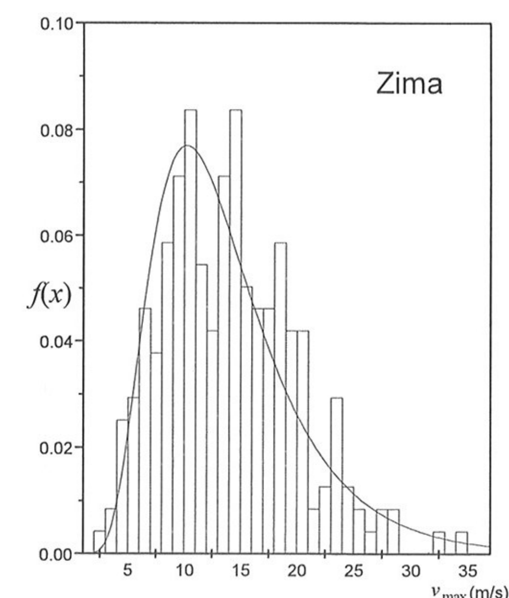

**Slika 18.** Troparametarska Vejbulova FGR i histogram relativne učestanosti srednjih časovnih brzina vetra izmerenih na stanici Beograd-Opservatorija u periodu od 1971. do 1975. godine.



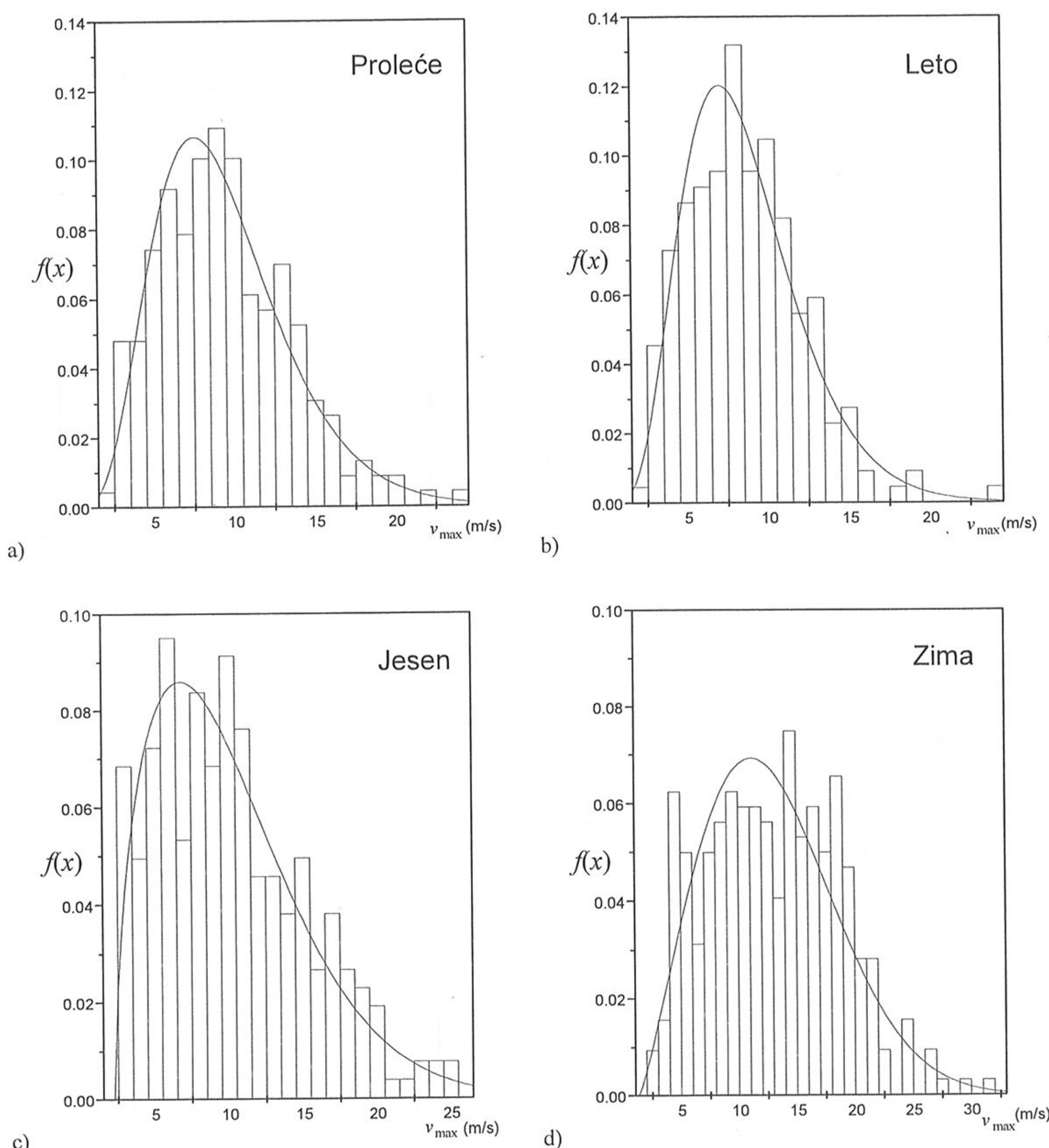



**Slika 19.** Empirijska i dvoparametarska lognormalna FGR trenutnih maksimalnih brzina vetra izmerenih na stanici Beograd-Zeleno Brdo po sezonama u periodu od 1971. do 1975. godine.




**Slika 20.** Sezonska empirijska i a), b) Gamma i c), d) Vejbulova FGR trenutnih maksimalnih brzina vetra izmerenih na stanici Beograd-Opservatorija u periodu od 1971. do 1975. godine.



Za očekivati je da se u relativno neporemećenoj atmosferi trenutna maksimalna brzina košave tokom cele godine najbolje može opisati samo jednom teorijskom funkcijom gustine raspodele, kao i da u gradskoj atmosferi to nije slučaj, što su izmereni podaci i potvrdili.

**Tabela 13**. Sezonski empirijski $\chi^2_n$ i teorijski $\chi^2_{n,\alpha=0,05}$ testovi za odabrane funkcije gustine raspodele u danima sa košavom u Beogradu u periodu od 1971. do 1975. godine.

| Sezona | Beograd-Zeleno Brdo | | Beograd-Opservatorija | |
|---|---|---|---|---|
| | Empirijska $\chi^2_n$ statistika | Teorijska $\chi^2_{n;0,05}$ statistika | Empirijska $\chi^2_n$ statistika | Teorijska $\chi^2_{n;0,05}$ statistika |
| Proleće | Lognormalna 20,447 | Lognormalna 31,410 | Gama 14,303 | Gama 31,410 |
| Leto | Lognormalna 22,946 | Lognormalna 30,114 | Gama 21,511 | Gama 31,410 |
| Jesen | Lognormalna 11,375 | Lognormalna 32,671 | Vejbulova 19,892 | Vejbulova 30,114 |
| Zima | Lognormalna 36,629 | Lognormalna 43,773 | Vejbulova 43,419 | Vejbulova 38,885 |

## 4.3 Analiza udarnosti vetra košave

Poznato je da košava duva na udare, tj., da je mahovite prirode, odnosno turbulentne strukture. To se ogleda u naglim i kratkotrajnim oscilacijama brzine i pravca oko neke srednje vrednosti, što se vidi iz zapisa instrumenta, anemografa (slika 1).

Mikroturbulentna struktura umerenih i jakih vetrova, kao što je košava, predstavljena je fluktuacijama brzine i pravca vetra. Fluktuacija brzine ili udarnosti vetra nastaje kao posledica turbulencije u sloju trenja, koja je često modifikovana efektima orografije kao što je slučaj kod pojave košave (Čupić sa saradnicima, 1985). Turbulentna struktura se formira usled superpozicije turbulentnih fluktuacija komponenata brzine vetra $u$, $v$ i $w$ najrazličitijih dimenzija na osnovno strujanje. Međutim, u atmosferi mogu da se jave i krupniji vrtlozi dužeg trajanja, tzv., koherentna vrtložna strujanja (Vukmirović i Merkle, 1991).

Stepen mikrofluktuacije izražava se indeksom udarnosti definisanim pomoću:

$$G = \frac{v_{max}}{\bar{v}},$$

gde je $v_{max}$ maksimalna brzina vetra, a $\bar{v}$ srednja brzina vetra u času kada je osmotrena maksimalna brzina vetra. Na osnovu merenja (Borisenko, 1977) ustanovljena je linearna zavisnost između maksimalnih i srednjih časovnih brzina vetra u obliku:

$$v_{max} = a\bar{v} + b,$$

gde su $a$ i $b$ konstante. Zamenjujući ovaj izraz u jednačinu za indeks udarnosti dobijamo da je:

$$G = a + \frac{b}{\bar{v}},$$

što takođe ukazuje na linearnu zavisnost.

Informacija o indeksu udarnosti je neophodan podatak za izračunavanje dinamičkog dela pritiska vetra na objekte u gradu, a posebno dalekovode. Stoga su za utvrđivanje zavisnosti između maksimalne i srednje časovne brzine vetra iz košavskog pravca korišćeni podaci merenja na stanici Beograd-Opservatorija u istom petogodišnjem periodu (1971-1975) kao i u slučaju ispitivanja ponašanja trenutnih maksimalnih brzina vetra. U navedenom periodu uočen je i rekordan period sa neprekidnom pojavom košave u trajanju od 31 dana (14. januar-13. februar 1972. godine), pa je ova situacija posebno analizirana i dobijeni rezultati su upoređeni sa analognim rezultatima iz petogodišnjeg perioda.

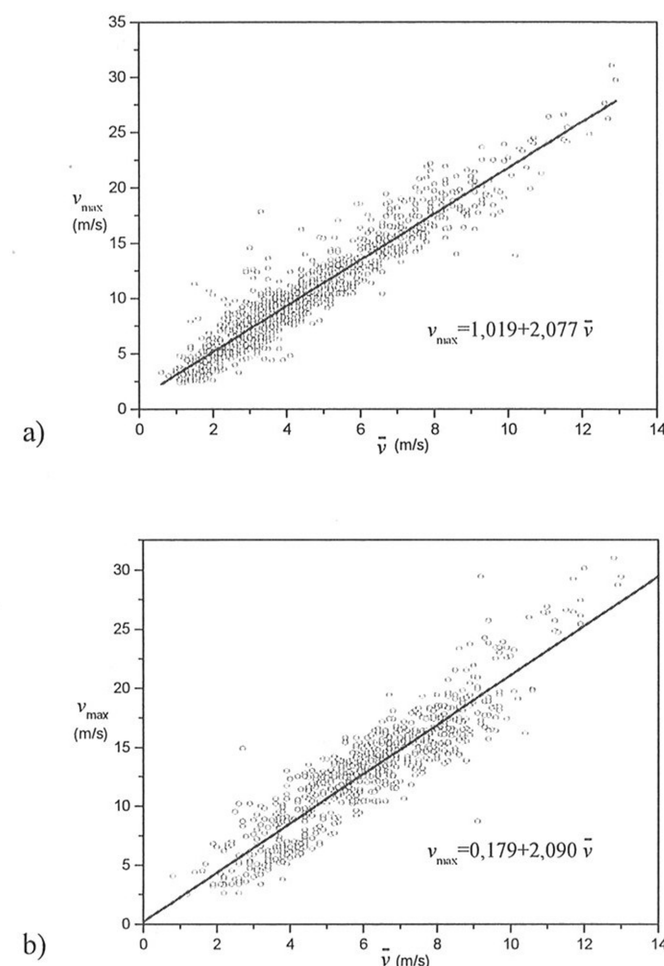
Empirijska veza između maksimalnih dnevnih i srednjih časovnih brzina vetra iz košavskog pravca u petogodišnjem periodu pokazana je na slici 21a, a analogna zavisnost između maksimalnih časovnih i srednjih časovnih brzina vetra košave u trajanju od 31 dana pokazana je na slici 21b.

Zajedničko za obe situacije je postojanje značajne korelacije između ispitivanih veličina sa koeficijentom korelacije većim od 0,90, kao i skoro isti nagib linije regresije prema apscisnoj osi (slika 21). Navedeni rezultat ukazuje možda na zaključak da bilo koji slučaj košave dovoljno dugog trajanja sadrži u sebi sve značajne karakteristike košave dobijene ispitivanjem na osnovu višegodišnjih osmatranja.

Merenja brzine vetra na različitim mestima u svetu pokazala su da su maksimalne brzine vetra na nivou merenja, bez obzira na pravac, proporcionalne



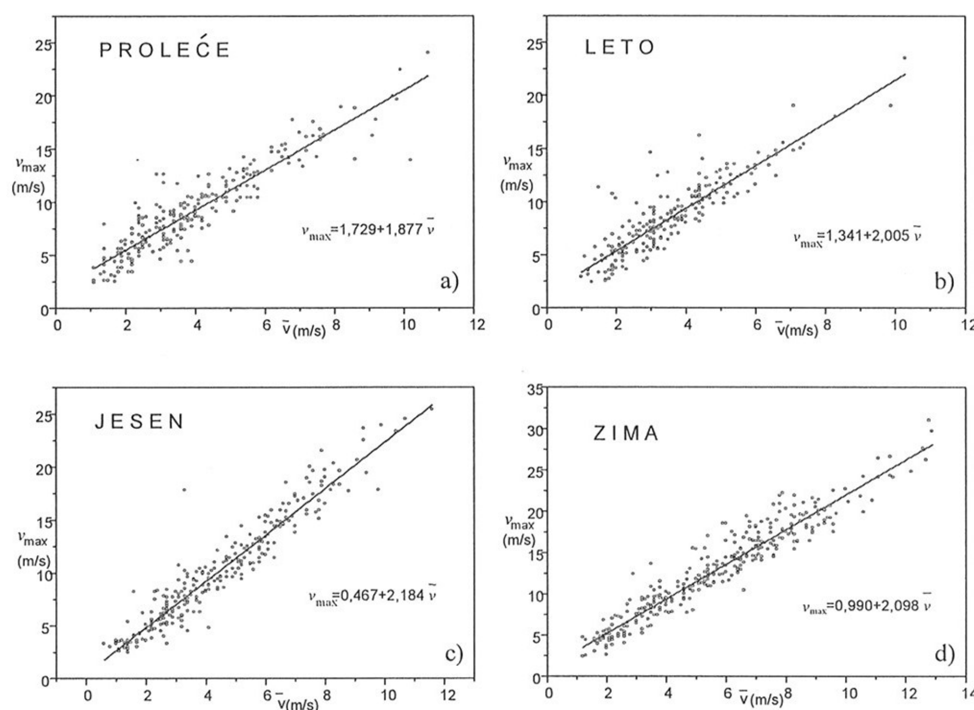
srednjoj brzini vetra u sloju atmosfere od nekoliko stotina metara iznad nivoa merenja (Frankenberger, 1968; Borisenko, 1977). Tako se i maksimalne brzine košave na nivou anemografa javljaju istovremeno sa formiranjem jezgra mlazne struje sa osom na visini između 250 i 700 m iznad tla (Vukmirović, 1985a,b).




**Slika 21**. Zavisnost između: a) maksimalnih dnevnih ( $v_{max}$ ) i srednjih časovnih ( $\bar{v}$ ) brzina košave u periodu od 1971. do 1975. godine i b) maksimalnih časovnih ( $v_{max}$ ) i srednjih časovnih ( $\bar{v}$ ) brzina košave u periodu od 14. januara do 13. februara 1972. godine izmerenih na stanici Beograd-Opservatorija.

Maksimalni udari košave u ispitivanom petogodišnjem periodu javljali su se u različito doba dana i noći, što ukazuje na cirkulacione uslove njenog nastanka (Vukmirović, 1985a,b). Udari vetra su bili jači kod košave koju je pratio prolazak fronta nego kod nefrontalne košave, kao što je već istaknuto u Glavi 1 ove Monografije.

Takođe je ispitivana i relacija između maksimalnih dnevnih i srednjih časovnih brzina košave izmerenih na stanici Beograd-Opservatorija tokom sve četiri sezone u godini, u istom petogodišnjem periodu, što je pokazano na slici 22 (Unkašević i saradnici, 1998).



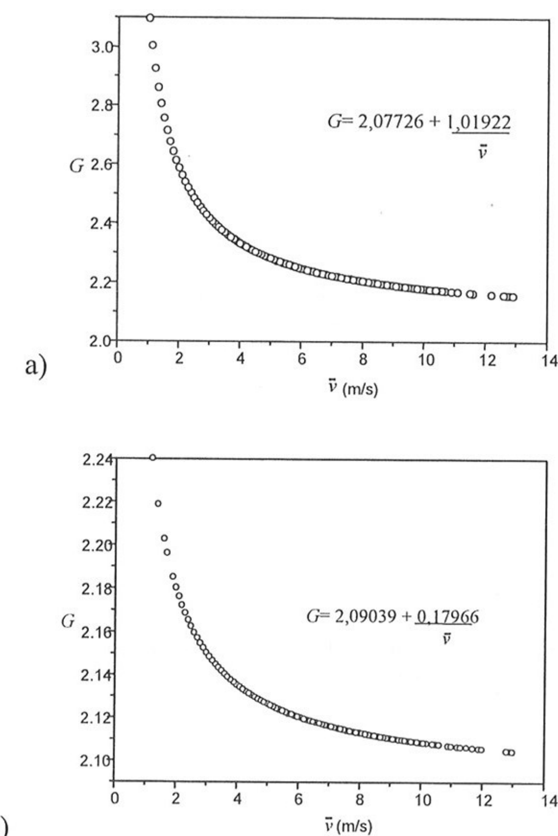

**Slika 22.** Zavisnost maksimalnih dnevnih ($v_{max}$) od srednjih časovnih ($\bar{v}$) brzina košave izmerenih na stanici Beograd-Opservatorija u različitim sezonama u periodu od 1971. do 1975. godine.

Interesantno je da se tokom leta i zime (slika 22b, d) javljaju nagibi regresije skoro jednaki nagibu regresije dobijenom za celokupni ispitivani petogodišnji period (slika 21a). Različiti nagibi regresije tokom proleća i jeseni (slika 22a, c) verovatno su uslovljeni brzim smenama različitih sinoptičkih



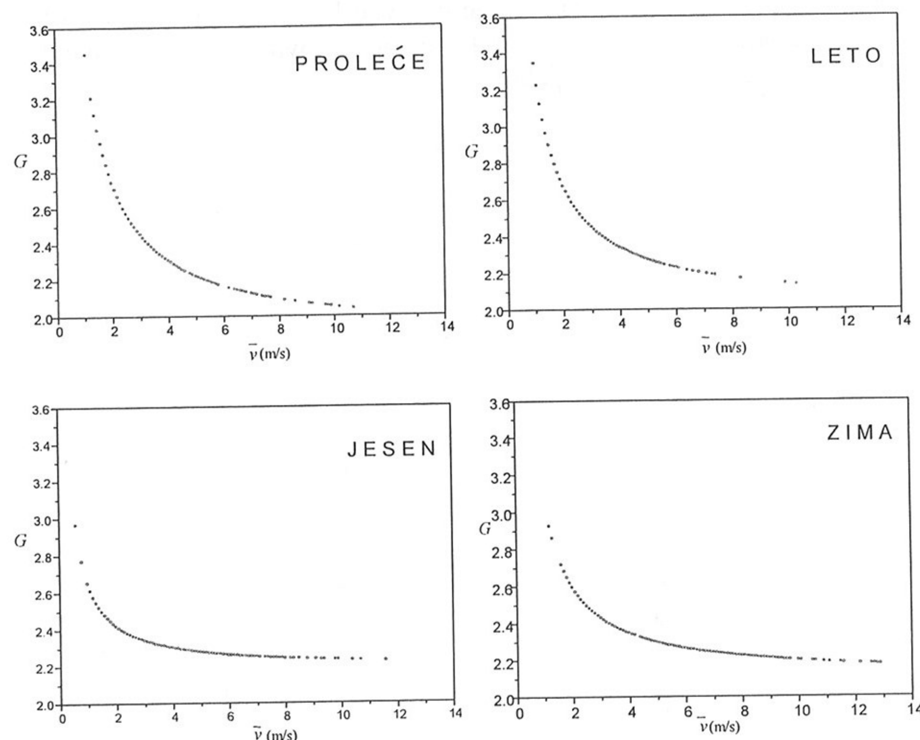
situacija iznad Srbije u prelaznim sezonama. Koeficijenti korelacije između maksimalnih dnevnih i srednjih časovnih brzina košave u različitim sezonama kreću se u intervalu od 0,8927 (leto) do 0,9579 (zima).

Zavisnost koeficijenta udarnosti $G$ od srednje časovne brzine vetra košave ($\bar{v}$) izmerene na stanici Beograd-Opservatorija u ispitivanom petogodišnjem periodu pokazana je na slici 23a, a analogna zavisnost za 31-dnevnu košavu pokazana je na slici 23b (Unkašević i Tošić, 1996). Može se uočiti značajna sličnost oba grafika. Naime, za srednje časovne brzine vetra veće od 12 m/s, koeficijent udarnosti $G$ ne zavisi od srednje časovne brzine košave i ima vrednost 2,15, odnosno 2,11, respektivno.




**Slika 23.** Zavisnost koeficijenta udarnosti ($G$) od srednje časovne brzine vetra košave ($\bar{v}$) za stanicu Beograd-Opservatorija u periodima: a) 1971-1975. godina, b) 14. januar-13. februar 1972. godine.

Funkcionalna veza između koeficijenta udarnosti i srednje časovne brzine vetra košave izmerene na stanici Beograd-Opservatorija u različitim sezonama pokazana je na slici 24. Uočeno je da u toploj polovini godine, koeficijenti udarnosti imaju veće vrednosti pri malim srednjim časovnim brzinama vetra nego u hladnoj polovini godine. Takođe, u proleće i leto, zavisnost koeficijenta udarnosti ($G$) od srednjih časovnih brzina brzina ($\bar{v}$) prestaje pri nešto manjim vrednostima $\bar{v}$ nego u jesen i zimu (slika 24).




**Slika 24**. Zavisnost koeficijenta udarnosti ($G$) od srednje časovne brzine vetra košave ($\bar{v}$) izmerene na stanici Beograd-Opservatorija u različitim sezonama u periodu od 1971. do 1975. godine.

# 5 Vertikalna struktura atmosfere iznad Beograda u danima sa košavom

Vertikalna struktura košave je posebno proučavana tokom specijalnog osmatračkog perioda nazvanog ALPEX (Alpski eksperiment). Analiza prikupljenih podataka je pokazala da se maksimalni udari košave javljaju skoro simultano sa formiranjem jezgra niske mlazne struje i da je pojava košave praćena povećanjem stabilnosti atmosfere (Vukmirović, 1985a).

U ovom odeljku analizirana je vertikalna struktura troposfere u toku tridesetjednog dana neprekidnog duvanja vetra košave (od 14. januara do 13. februara 1972. godine) izmerenog na stanici Beograd-Zeleno Brdo, zbog istih karakteristika udarnosti vetra kao u periodu od 1971. do 1975. godine. Ovo je bio rekordan broj dana sa košavom u januaru i februaru od kada postoje meteorološka osmatranja u Srbiji (od 1887. godine). Inače, srednji broj dana sa košavom u januaru je 6,5, a u februaru 7,3 (Milosavljević, 1950).

## 5.1 Vertikalni profili vetra, temperature i relativne vlažnosti u danima sa košavom

Vertikalna struktura troposfere je predstavljena profilima srednjih vrednosti vetra, temperature i relativne vlažnosti do visine od 3 km u danima sa košavom u januaru i februaru 1972. godine izmerenih na stanici Beograd-Zeleno Brdo, zajedno sa profilima srednjih desetogodišnjih vrednosti navedenih veličina za januar i februar računatih u periodu od 1961. do 1970. godine (Unkašević i saradnici, 1999).

Profili brzine vetra tokom januara i februara 1972. godine ukazuju na rast brzine sa maksimumom u sloju atmosfere između 400 i 600 m iznad tla (slike 25a i 26a). Iznad nivoa maksimuma vetra, centra niske mlazne struje, brzina vetra je brže opadala nego što je prethodno rasla sve do visine od 1750 m iznad tla (850 mb), a zatim je ponovo bila u porastu.

Ovakav profil brzine vetra pokazuje da se vetar košava može posmatrati kao specifična mezostruja, odnosno kao mlazna struja graničnog sloja atmosfere (Vukmirović i Merkle, 1991).

U daljoj analizi nije uočena bitna razlika između profila brzine vetra košave izmerene tokom januara i februara, naročito do visine od 750 m iznad površine tla.

Vetar košava znatno remeti srednje strujanje iznad Beograda. Naime, srednje brzine vetra u razmatranim mesecima 1972. godine u sloju do 1000 m iznad tla bile su veće od srednjih desetogodišnjih vrednosti vetra, a od oko 1250 m bile su manje (slike 25a i 26a).

Profil srednje temperature u 01 čas (po lokalnom vremenu) tokom januara ukazuje na postojanje izotermije (sloj vazduha u kome se temperatura ne menja sa visinom) u sloju do 400 m visine i inverzije (sloj vazduha u kome temperatura raste sa visinom) do visine od oko 750 m iznad tla (slika 25b). Danju, (u 13 časova po lokalnom vremenu) zbog dnevnog zagrevanja i jake turbulencije, temperatura opada sa visinom nadadijabatski (1,2°C/100 m) do visine od oko 550 m iznad tla. U sloju visine između 550 i 1000 m iznad tla postojala je slaba inverzija. Iznad ovog sloja inverzije, vertikalni gradijent temperature bio je zanemarljiv (0,27 °C/100 m) do visine od oko 1250 m iznad tla. U sloju visine između 1250 i 2750 m iznad tla vertikalni gradijent temperature iznosio je 0,52°C/100 m.

Tokom meseca februara u 01 čas (po lokalnom vremenu) postojala je inverzija temperature do visine od oko 750 m iznad tla (slika 25b). Iznad ove visine, temperatura je opadala ravnomerno sa visinom sa gradijentom od oko 0,51°C/100 m.

Slično kao i u mesecu januaru, u februaru je temperatura u 13 časova (po lokalnom vremenu) opadala sa visinom do visine oko 450 m iznad tla, nije se menjala do visine od oko 550 m iznad tla, da bi potom rasla sa visinom do oko 750 m sa temperaturnim gradijentom u iznosu od 0,9°C/100 m. Vertikalni gradijent temperature iznad visine od 750 m iznosio je 0,51°C/100 m, tj., kao i noću. Poređenje ovih profila za januar i februar sa vertikalnim profilima temperature dobijenim za srednje desetogodišnje vrednosti temperature pokazuje



da je u toku dana sa košavom donja troposfera znatno stabilnija i toplija. Izuzetak je samo sloj visine do 400 m iznad tla u kome je, oko podne, postojao nadadijabatski gradijent temperature.

Takođe je uočeno da se prizemne inverzije mogu javiti i pri brzini vetra od 16 m/s (2. i 3. februara 1972. godine u 01 čas), dok pridignute inverzije redovno prate košavu danju (u 13 časova). Prizemne inverzije se pri košavi uglavnom javljaju noću i to u zimskom periodu. One se razvijaju ne samo pod uticajem procesa izračivanja i slabljenja turbulentne razmene, već i drugih faktora kao što je advekcija toplijeg vazduha u jugoistočnom strujanju, kontaktno hlađenje vazduha od hladnije zemljine površine i drugi procesi (Vukmirović i Merkle, 1991). Debljina pridignutih inverzija u oba termina osmatranja tokom januara iznosila je između 100 i 200 m. Tokom februara, debljina ovih inverzija iznosila je između 300 i 400 m u 01 čas i između 100 i 200 m u 13 časova, kao i u januaru. Ove pridignute inverzije kod nefrontalnih košava su posledica vertikalnog spuštanja vazduha u anticiklonu ili potiču od frontalne površine kod frontalnih košava.

Intenzitet prizemnih inverzija u januaru može biti između 4,5 i 5,0°C (u 01 čas), dok su u proseku slabe i iznose između 0,0 i 1,0°C. Intenzitet pridignutih inverzija je najčešće između 1,1 i 3,0°C.

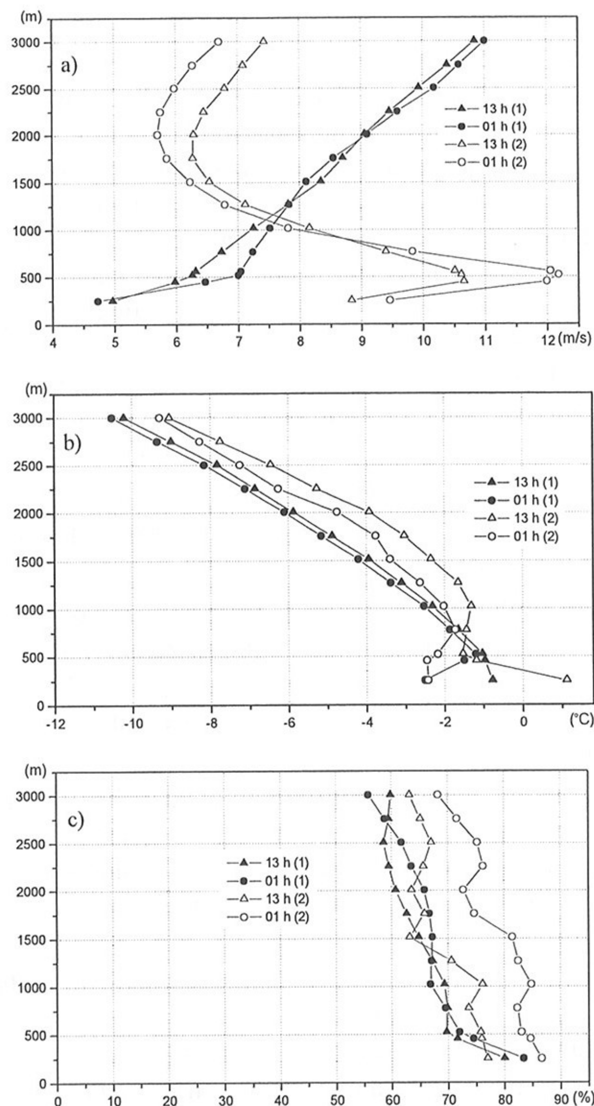
Analiza vertikalnih profila vetra i temperature pokazuje da se nivo maksimuma brzine vetra nalazi ili na vrhu prizemne inverzije ili na bazi pridignute inverzije, odnosno na visini između 400 i 600 m iznad tla. Ova činjenica se možda može objasniti nemogućnošću trenutnog usklađivanja polja vetra i temperature.

Usled jakog vetra i intenzivnog mešanja vazduha u donjoj troposferi, relativna vlažnost vazduha se neznatno menja sa visinom. Naime, u mesecu januaru relativna vlažnost vazduha polako opada sa visinom do 750 m, a iznad ove visine u sloju do 3000 m iznad tla sporo se menja sa visinom u oba termina osmatranja (slika 25c).

Tokom februara u noćnom terminu osmatranja (slika 26c) relativna vlažnost brzo opada do visine od 500 m, dok tokom dana se ne menja sa visinom, a zatim se do visine od 3000 m iznad tla skoro ne menja. Relativna vlažnost vazduha je noću veća za oko 10% nego danju u oba posmatrana meseca.

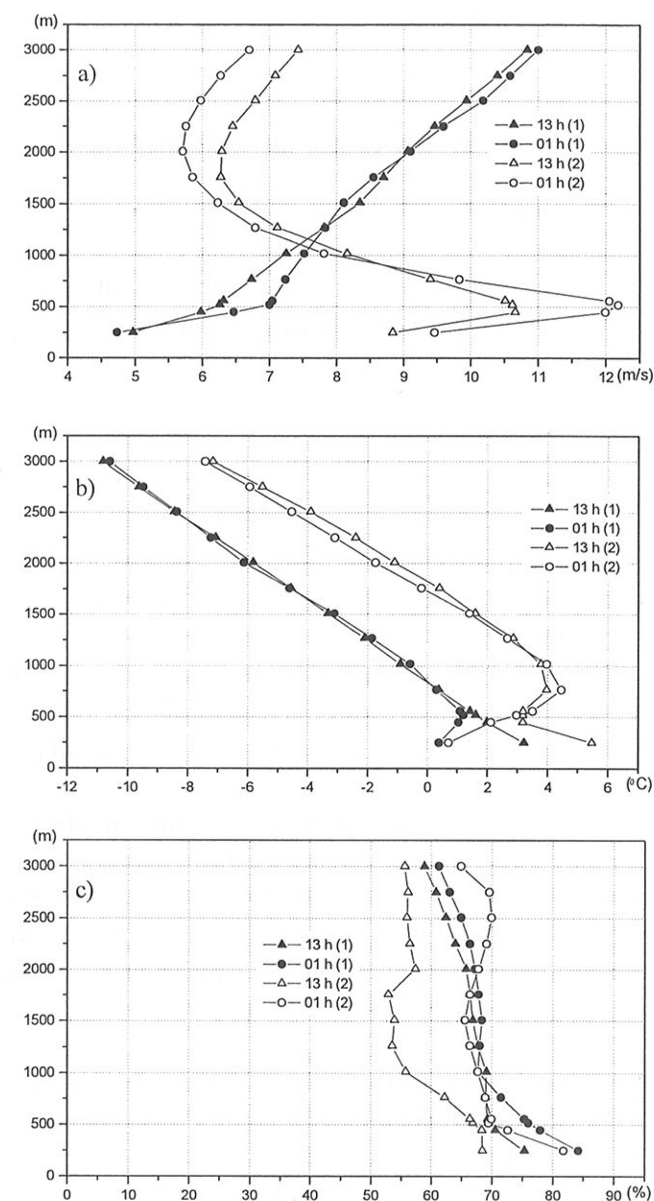
U poređenju sa vertikalnim profilom relativne vlažnosti vazduha dobijenim na osnovu srednjih desetogodišnjih vrednosti relativne vlažnosti (1961-1970), relativna vlažnost vazduha u danima sa košavom u januaru bila je veća u oba termina osmatranja (slika 25c), dok je u februaru relativna vlažnost bila manja.

Jedini izuzetak je relativna vlažnost noću u danima sa košavom iznad visine od 2000 m (slika 26c).




**Slika 25.** Vertikalni profili: a) brzine vetra (m/s), b) temperature (°C) i c) relativne vlažnosti vazduha (%) računati kao desetogodišnje srednje vrednosti u periodu od 1961. do 1970. godine (označeni sa 1) i u toku dana sa košavom u januaru 1972. godine (označeni sa 2) izmereni na stanici Beograd-Zeleno Brdo.






**Slika 26.** Isto kao na slici 25 ali za mesec februar.

## 5.2 Faktor ventilacije kod vetra košave

Pored udara košave, koji nanose velike štete privredi, ovaj vetar dovodi do dobre provetrenosti i smanjenja zagađenosti prizemnog sloja atmosfere, naročito u gradskim i industrijskim oblastima.

Za pozitivan ekološki uticaj košave bitna je njena moć ventilacije koja je data ventilacionim faktorom. Prema Summersovom modelu prostiranja zagađenosti u atmosferi (Oke, 1978), koncentracija štetnih materija u vazduhu je obrnuto proporcionalna ventilacionom faktoru $V_e$ ($m^2s^{-1}$) koji je definisan kao proizvod srednje brzine vetra $\bar{v}$ (m/s) u sloju ventilacije visine $h$ (m), tj., kao:

$$V_e = \bar{v}h \, .$$

Pod slojem ventilacije ovde se podrazumeva sloj mešanja ili granični sloj atmosfere. Sloj ventilacije kod košave određen je njenom vertikalnom strukturom, tj., vertikalnom raspodelom (profilom) brzine vetra i temperature (slike 25 i 26). U slučaju jakih vetrova, kao što je košava, visina tog sloja je jednaka nivou maksimalnog vetra u njegovom vertikalnom profilu, što je najčešće na visini između 300 i 400 m iznad tla. Međutim, visina sloja mešanja se neprekidno menja i nezavisno od doba dana ili noći kreće se od 300 do 600 pa i 1000 m iznad tla doprinoseći tako velikoj vrednosti faktora ventilacije.

Kao što je istaknuto na početku ovog poglavlja, za košavu je tipično da najčešće duva u sloju atmosfere ograničenom pridignutom inverzijom temperature, čija se baza najčešće podudara sa maksimalnom brzinom u vertikalnom profilu vetra. To ja za košavu prirodan i dobro definisan ventilacioni sloj, što ima za posledicu veoma delotvoran faktor ventilacije.

Treba naglasiti da pojava prizemnih inverzija temperature ne smanjuje moć ventilacije košave, jer ne utiče bitno na visinu sloja mešanja, a kao što je već istaknuto, one mogu da postoje i pri brzinama vetra od 16 m/s na visini anemografa.

U tabeli 14 date su vrednosti ventilacionog faktora za slučaj košave koja se javila u periodu od 18. do 24. marta 1982. godine u Beogradu-Opservatorija (Vukmirović, 1997). Iz tabele 14 se vidi da faktor ventilacije, $V_e$, ima najveće vrednosti pri velikim srednjim brzinama košave ili usled porasta visine sloja mešanja preko 400 m, koji je obično kratkotrajan. Najveće brzine i udare pri zemlji košava ima kada se na nivou maksimalne brzine javi tzv. jezgro mlaza. Pomenuta tabela takođe pokazuje da ventilacioni faktor ima visoke vrednosti kako danju tako i noću, bez obzira na brzinu košave pri zemlji $\bar{v}$ (m/s).

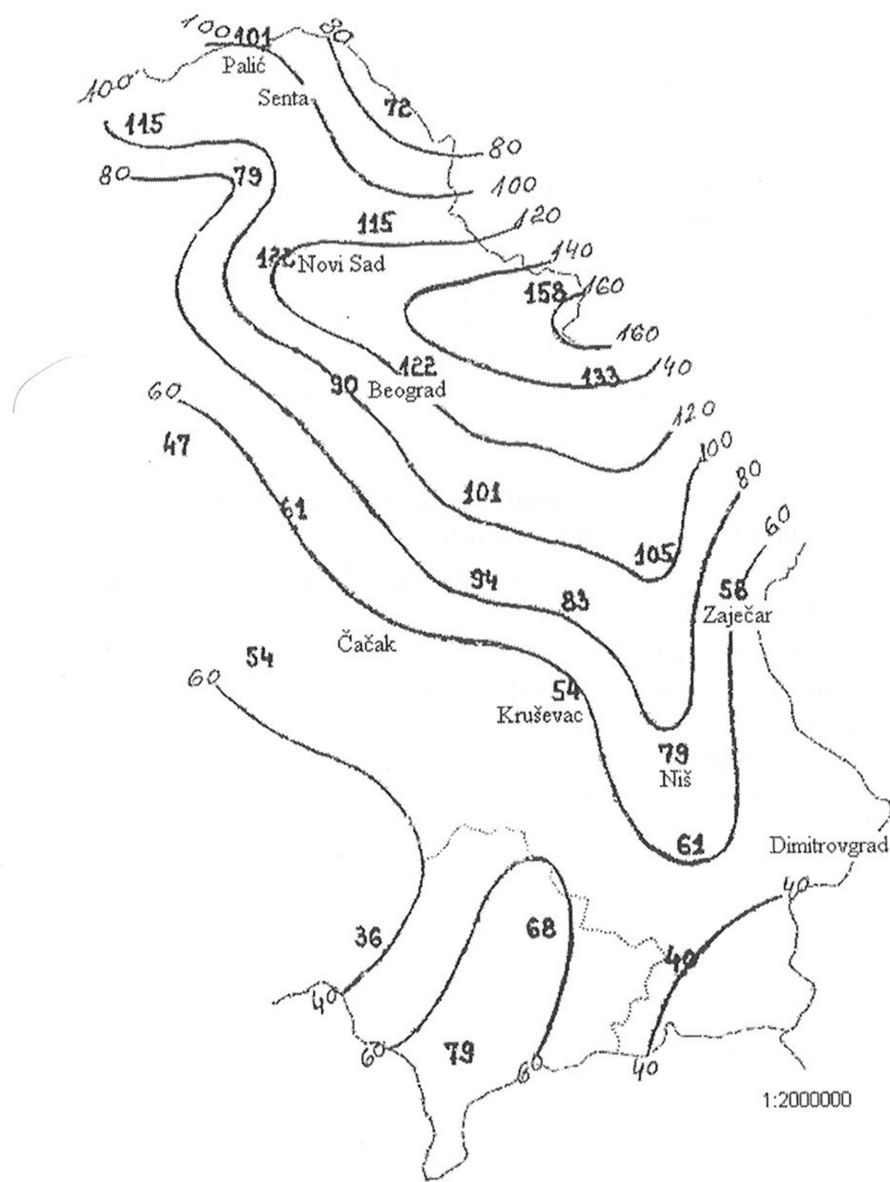


**Tabela 14**. Vrednosti faktora ventilacije za košavu izmerene na stanici Beograd-Opservatorija (18.-24. mart 1982. godine, Vukmirović 1997).

| Dan | Čas | $\bar{v}$ | $V_e$ | Dan | Čas | $\bar{v}$ | $V_e$ | Dan | Čas | $\bar{v}$ | $V_e$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **18.** | 12:15 | 2 | 4020 | **21.** | 06:15 | 10 | 5850 | **22.** | 21:40 | 7 | 9900 |
| | 18:15 | 9 | 8400 | | 09:35 | 12 | 3500 | **23.** | 00:50 | 7 | 12180 |
| **19.** | 00:15 | 14 | 7650 | | 12:15 | 11 | 3300 | | 03:15 | 11 | 12470 |
| | 10:17 | 12 | 5600 | | 15:15 | 5 | 3525 | | 07:25 | 9 | 20020 |
| | 18:19 | 6 | 5400 | | 18:15 | 7 | 4600 | | 09:15 | 7 | 20375 |
| **20.** | 00:15 | 9 | 12400 | **22.** | 00:25 | 7 | 6625 | | 12:15 | 10 | 21245 |
| | 06:30 | 4 | 14500 | | 03:15 | 6 | 4500 | | 15:35 | 5 | 13920 |
| | 12:30 | 3 | 9450 | | 06:15 | 7 | 6600 | | 18:19 | 6 | 16500 |
| | 18:15 | 8 | 11700 | | 09:15 | 8 | 4500 | **24.** | 00:15 | 8 | 15000 |
| | 22:00 | 5 | 9360 | | 12:30 | 8 | 4950 | | 06:37 | 4 | 5060 |
| **21.** | 00:15 | 5 | 9100 | | 15:15 | 8 | 4500 | | 12:34 | 3 | 2700 |
| | 03:15 | 5 | 5500 | | 18:15 | 7 | 9375 | | 19:00 | 4 | 950 |

Ako se ove vrednosti faktora ventilacije uporede sa faktorom ventilacije računatim za pretpostavljene srednje vrednosti visine mešanja i srednje brzine vetra u njemu (oko 200 $m^2s^{-1}$ za noć i oko 1500 $m^2s^{-1}$ za dan) vidi se koliko je znatna moć provetravanja pri pojavi košave.

O prostornoj raspodeli faktora ventilacije može se suditi samo kvantitativno, na primer, iz anemografskih zapisa udarnosti u danima sa košavom. Jedna takva analiza epizode jake košave Popovića (1982) pokazuje da je najveći ventilacioni efekat košave u istočnom delu košavske oblasti tj., u zavetrini Karpatskog planinskog sistema (slika 27).




**Slika 27.** Izotahe (izolinije maksimalnih udara vetra) košave (km/h) u periodu od 16. do 18. februara 1979. godine (Popović, 1982).

# 6 Spektralna analiza vetra košave

Spektar vremenske serije (VS) predstavlja raspodelu varijanse serije kao funkciju učestanosti. Ocena i proučavanje spektra je cilj spektralne analize. Postavlja se pitanje zašto analizirati spektar? Spektar je od interesa jer mnoge prirodne pojave zavise od učestanosti, a razumevanje zavisnosti od učestanosti može da nas informiše o fizičkim mehanizmima, koji bitno određuju posmatrani meteorološki niz.

Do značajnog saznanja o prirodi vremenskih serija možemo doći ako izvršimo transformaciju autokorelacione funkcije (ACF). Ova operacija transformacije autokorelacione funkcije iz domena vremena u domen učestanosti daje novu funkciju koju zovemo spektar varijacija. Spektar i ACF su dva komplementarna načina prikazivanja varijanse VS, jer pružaju istu informaciju ali izraženu na različite načine. Autokorelaciona funkcija nam daje informacije u *vremenskom domenu*, a spektar u *domenu učestanosti* ili *frekvencijskom domenu*. U nekim situacijama (istraživanje vulkanskih erupcija) je korisniji pristup u vremenskom domenu zasnovan na ACF, dok je u drugim situacijama (na primer, sezonske promene površinske temperature) bolji pristup u domenu učestanosti zasnovan na spektru.

Neparametarske ili klasične metode ocene spektra razvijene su u cilju poboljšanja ocene spektra pomoću periodograma. Poboljšanja se ogledaju u tome što se na periodogram ili na autokorelacionu funkciju primenjuju operacije osrednjavanja, tako da se dobije konzistentna ocena spektralne gustine. Pri tome se ne čine nikakve pretpostavke u pogledu karakteristika posmatranog niza.

U ovoj Glavi prikazaće se Blekman-Takijev metod, metod sa više prozora i vejvlet transformacija (Tošić, 2005).

## 6.1 Matematički opis spektra primenom Blekman-Takijevog metoda

Blekman-Takijev (BT) metod (Blackman i Tukey, 1958; Tošić, 2004) je jedan od neparametarskih metoda za ocenu spektra.

Ako imamo $N$ članova serije $x_i$, izračunamo serijske kovarijanse $C_\tau$ za sve pomake od $\tau = 0$ do $\tau = m$ $(m < N)$ prema:

$$C_\tau = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N-\tau}(x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x}),$$

gde je $\bar{x}$ srednja vrednost od svih $x_i$. Spektralne ocene $S_k$, $k = 0,1,2,\dots,m-1,m$ se zatim dobijaju pomoću jednačina:

$$\hat{S}_0 = \frac{1}{2m}(C_0 + C_m) + \frac{1}{m}\sum_{\tau=1}^{m-1} C_\tau, \tag{1}$$

$$\hat{S}_k = \frac{C_0}{m} + \frac{2}{m}\sum_{\tau=1}^{m-1} C_\tau \cos\left(\frac{\pi k \tau}{m}\right) + \frac{1}{m} C_m (-1)^k, \tag{2}$$

$$\hat{S}_m = \frac{1}{2m}\left[C_0 + (-1)^m C_m\right] + \frac{1}{m}\sum_{\tau=1}^{m-1}(-1)^\tau C_\tau . \tag{3}$$

Jednačina (1) se koristi za izračunavanje spektralne ocene $\hat{S}_0$, koja odgovara beskonačnoj talasnoj dužini (trendu), a jednačina (3) se koristi za izračunavanje spektralne ocene $\hat{S}_m$, koja odgovara najkraćoj talasnoj dužini rešivoj u spektru (talasnoj dužini jednakoj dvostrukom intervalu između uzastopnih osmatranja). Preostalih $m-1$ vrednosti spektralnih ocena se izračunavaju iz jednačine (2) stavljajući da $k$ u kosinusnom argumentu uzima uzastopne vrednosti $k = 1,2,\dots,m-1$.

Konačne spektralne ocene, $S_k$, se zatim izračunavaju uravnavanjem spektralnih ocena pomoću formula:

$$S_0 = \frac{1}{2}\left(\hat{S}_0 + \hat{S}_1\right), \tag{4}$$

$$S_k = \frac{1}{4}\left(\hat{S}_{k-1} + 2\hat{S}_k + \hat{S}_{k+1}\right), \tag{5}$$



$$S_m = \frac{1}{2}\left(\hat{S}_{m-1} + \hat{S}_m\right), \tag{6}$$

gde $k$ u jednačini (5) uzima vrednosti 1, 2, …, $m-1$. To je tzv. Hamingov metod.

### 6.1.1 Test značajnosti koji se primenjuje na spektre

Značajnost pikova spektra se ispituje u odnosu na tzv. nulti spektar, koji može da bude "beli šum" ili "crveni šum". Ako se koeficijent serijske korelacije nakon prvog koraka $r_1$ ne razlikuje od nule za statistički značajan iznos, nulti spektar je "beli šum", ili drugim rečima horizontalna prava linija čija je vrednost svuda jednaka srednjoj vrednosti od svih $m+1$ neuravnatih spektralnih ocena u izračunatom spektru.

Međutim, ako se koeficijent serijske korelacije razlikuje od nule za statistički značajan iznos, treba proveriti da li koeficijenti korelacije približno prate relaciju

$$r_2 \approx r_1^2;\ r_3 \approx r_1^3;\ \text{itd.}$$

U tom slučaju, odgovarajuća nulta hipoteza treba da bude "Markovljev crveni šum".

Prema Gilmanu i sar. (1963), spektar "crvenog šuma" je:

$$P_k = \bar{s}\frac{1 - r_1^2}{1 + r_1^2 - 2r_1\cos(\pi k/m)}, \tag{7}$$

gde je $\bar{s}$ srednja vrednost od svih $m+1$ spektralnih ocena $\hat{S}_k$ u izračunatom spektru. Kada je $r_1 \approx 0$ u (7), dobija se spektar "belog šuma".

Statistika koja je povezana sa svakom spektralnom ocenom, na osnovu koje se određuje značajnost odstupanja te ocene od nultog spektra, je odnos uzoračke spektralne ocene ($S_k$) i nultog spektra. Tukey je (1950) otkrio da je ova veličina raspodeljena kao hi-kvadrat podeljena sa brojem stepeni slobode ($\nu$), koji su bazirani na dužini serije od $N$ vrednosti i na maksimalnom pomaku od $m$ vremenskih jedinica:

$$\nu = \frac{2N - \frac{m}{2}}{m}. \tag{8}$$

Kritični nivoi $\chi^2/\nu$ raspodele za određeno $\nu$ se dobijaju iz tabela za $\chi^2$.

## 6.2 Metod sa više prozora

Thomson je 1982. godine uveo metod sa više prozora (MTM, engl. *Multitaper method*). Kod ovog metoda su podaci pomnoženi ne sa jednim, već sa nekoliko prozora koji su otporni na spektralno curenje. Ovo rezultuje u nekoliko ($S$) taperovanih vremenskih serija, $a_s(t)x(t)$, od jedne početne vremenske serije $x(t)$, gde $s = 1,...,S$. Prozori su ortogonalni, tako da svaki od njih uzorkuje vremensku seriju na drugačiji način. Statistička informacija odbačena prvim prozorom je delimično pokrivena drugim prozorom, informacija odbačena sa prva dva prozora je delimično pokrivena trećim prozorom, itd. Primenjuje se samo nekoliko prozora nižeg reda jer spektralno curenje raste sa porastom reda. Primenjujući Furijeovu transformaciju na svaku od $S$ taperovanih vremenskih serija, proizvodi se $S$ ocena spektra, $Y_s(f)$. Prozori $a_s$ se nazivaju "sopstveni prozori" jer nastaju razlaganjem na sopstvene vrednosti. Slično se i spektri $Y_s(f)$ zovu sopstveni spektri. Spektar dobijen korišćenjem više prozora ima manju varijansu od jednom taperovanog spektra i u isto vreme je otporan na spektralno curenje.

Za datu vremensku seriju $x(t)$, određujemo prvo set od $S$ ortogonalnih Slepian prozora $a_s(t)$ i njihovih $S$ taperovanih Furijeovih transformacija ili sopstvenih spektara $Y_s(f)$, $s = 1,...,S$, kao:

$$Y_s(f) = \sum_{t=1}^{N} a_s(t)x(t)e^{i2\pi f t\Delta t}, \qquad (9)$$

gde je $a_s(t)$ $s$-ti član u familiji ortogonalnih Slepian prozora, sa $s = 1,...,S$, a $\Delta t$ je interval uzorkovanja. Mogu se rešiti samo spektralne fluktuacije na učestanostima većim od Rejlijeve frekvencije. Frekvencijska rezolucija spektra je data sa $2pf_R$, gde je $p$ (ceo broj) parametar vremensko-frekvencijskog propusnog opsega (engl. *bandwidth*). Prema Park i sar. (1987), samo prvih $S = 2p-1$ prozora je otporno na spektralno curenje. U klimatskim proučavanjima, izbor $p = 2$ i stoga $S = 3$ obezbeđuje dobar kompromis između rezolucije koja odgovara rešavanju klimatskih signala i varijanse spektralne ocene (Mann i Park, 1994, 1996; Tošić i Unkašević, 2004; Tošić i Unkašević, 2005).



Linearna kombinacija sopstvenih spektara data sa $\overline{Y}(f)$ obezbeđuje spektar sa optimalnim osobinama kao kompromisno rešenje između spektralne rezolucije i varijanse:

$$\overline{Y}(f) = \frac{\sum_{s=1}^{S} \lambda_s |Y_s(f)|^2}{\sum_{s=1}^{S} \lambda_s}. \qquad (10)$$

Značajnost periodičnih ili kvazi-periodičnih signala se meri u odnosu na pozadinski šum. Nivoi značajnosti ocene šuma se izračunavaju pretpostavljajući da spektar ima $\chi^2_\nu$ raspodelu sa $\nu \approx 2S$ stepeni slobode (Mann i Lees, 1996). Pretpostavlja se da je odnos snage pika i lokalnog nivoa šuma u spektru raspodeljen kao $\chi^2/\nu$ i može se porediti sa tabličnim $\chi^2$ vrednostima verovatnoće raspodele da bi se odredila značajnost pika.

## 6.3 Vejvlet transformacija (WT)

Vejvlet analiza (WA) je metod za analizu promena snage VS sa vremenom. Vejlet transformacijom se vremenska serija transformiše iz vremenskog u vremensko-frekvencijski prostor. Nasuprot Furijeovoj transformaciji, koja omogućava prikaz globalnog frekvencijskog sadržaja, WT obezbeđuje lokalizovanu, trenutnu ocenu amplitude i faze za svaku spektralnu komponentu serije. Ovo daje prednost WA u analizi nestacionarnih podataka kod kojih amplitude i faze harmonijskih komponenti mogu da se brzo menjaju u vremenu ili prostoru (Torrence i Compo, 1998).

*Vejvleti* su familije funkcija koje se generišu skaliranjem i translacijom jedne prototipske funkcije (engl. *mother wavelet*) $G(t)$:

$$G_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} G\left(\frac{t-b}{a}\right). \qquad (11)$$

Prototipska vejvlet funkcija mora da zadovolji sledeći uslov

$$\int G(t)\mathrm{d}t = 0, \qquad (12)$$

što ukazuje na njen oscilatorni karakter, zbog čega je ova funkcija i dobila ime *talasić* (Mojsilović, 1997). Realan skalar $b$ se naziva parametar translacije i odgovara centralnoj tački vejvleta u VS. Realan i pozitivan skalar $a$ je

parametar skaliranja i određuje širinu vejvleta. Faktor $1/\sqrt{a}$ normalizuje vejvlete tako da imaju jediničnu energiju i otuda su uporedivi za sve razmere $a$.

Osnovu WT čini ideja da se proizvoljna funkcija $x(t)$ predstavi kao superpozicija vejvleta. Drugim rečima, WT predstavlja dekompoziciju funkcije $x$ na sledeći način:

$$T(a,b)=\langle x(t),G_{a,b}(t)\rangle=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{\infty}x(t)G^*\left(\frac{t-b}{a}\right)\mathrm{d}t,\ a\in\mathbf{R}^+,\ b\in\mathbf{R}. \quad (13)$$

Ukoliko se vrši dekompozicija realnih signala, znak za konjugovano kompleksnu vrednost $^*$ se može izostaviti. Prethodna jednačina predstavlja definicioni izraz za *kontinualnu vejvlet transformaciju*. Jednačina (13) opisuje postupak dekompozicije prilikom izračunavanja WT (formula za analizu). Sinteza funkcije $x(t)$, na osnovu transformacionih (vejvlet) koeficijenata $T(a,b)$ data je sledećim izrazom:

$$x(t)=c\int_{a\in\mathbf{R}^+}\int_{b\in\mathbf{R}}T(a,b)G_{a,b}(t)\frac{\mathrm{d}a\mathrm{d}b}{a^2}, \quad (14)$$

gde se pretpostavlja da su i $x(t)$ i $G_{a,b}(t)$ realne funkcije. Da bi važila rekonstrukciona formula (14), vejvlet $G_{a,b}(t)$ mora da zadovolji uslov (12).

Jedan od najčešće korišćenih vejvleta u atmosferskim i geofizičkim naukama je Morletov vejvlet:

$$G(t)=\mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}}\mathrm{e}^{\mathrm{i}ct}, \quad (15)$$

koji se sastoji od ravnog talasa $\mathrm{e}^{\mathrm{i}ct}$ frekvencije $c=f$ (ili talasnog broja $c=k$ u prostornom domenu), modulisanom u vremenu Gausovom envelopom jedinične širine $\mathrm{e}^{-t^2/2}$.

Praktičan postupak za izvršenje vejvlet analize se može sumirati na sledeći način. Kako radimo sa vremenskim serijama konačne dužine, događaju se greške na početku i na kraju vejvlet spektra, jer Furijeova transformacija (FT) pretpostavlja da su podaci ciklični. Zbog toga treba taperovati vremensku seriju $x(t)$ koristeći prozor oblika $1-\sin\varphi$, koji teži nuli ka krajnjim tačkama serije. Konačan broj tačaka u seriji treba da bude stepen od 2, tj. $N=2^m$, gde je $m$ ceo broj da bi lakše izračunali brzu Furijeovu transformaciju (FFT). Zatim se oduzme srednja vrednost taperovane vremenske serije i izračuna se njena Furijeova transformacija $\hat{x}(f)$. Takođe, treba izračunati i FT vejvleta $G(t)$ za specifičan razmer $a$ da bi dobili $\hat{G}(af)$. Može se koristiti proizvoljan broj razmera u obliku:



$$a_j=a_0 2^{j\delta j},\ j=0,1,\dots,J,$$

gde je

$$J=(\delta j)^{-1}\log_2\left(\frac{N\delta t}{a_0}\right).$$

Najmanji razmer $a_0$ je određen sa $a_0=2\delta t$, a najveći razmer je određen sa $J$ (Torrence i Compo, 1998). Vremenski interval je određen sa $\delta t$, a manje vrednosti $\delta j$ daju bolju rezoluciju. U našem slučaju izabrano je $\delta j=0{,}125$.

Zatim se izračunava WT kao u jednačini (13) konvolucijom proizvoda $\hat{G}^*(af)\hat{x}(f)$ u Furijeovom prostoru. Konačno, uradi se inverzna FT da bi dobili $T(b,a)$ kao funkciju vremena $b$ i razmera $a$. Pošto je vejvlet funkcija $G(t)$ kompleksna, rezultujuća vejvlet transformacija je takođe kompleksna. Stoga se može napisati kao suma realnog $\mathrm{Re}\{T(b,a)\}$ i imaginarnog $\mathrm{Im}\{T(b,a)\}$ dela, ili kao kombinacija amplitude i faze. Dodatno, možemo definisati "vejvlet spektar snage" kao $|T(b,a)|^2$. WT možemo predstaviti crtanjem vejvlet spektra kao funkcije $b$ na linearnoj $x$-osi i razmera $a$ na logaritamskoj $y$-osi ili u funkciji Furijeove periode i vremena (tj. parametra translacije). Međutim, ponekad se može naći veza između talasne dužine i razmera $a$. Furijeova perioda $P$ je povezana sa parametrom skaliranja $a$ i parametrom Morletove vejvlet funkcije $\omega_0$ pomoću sledeće relacije (Torrence i Compo, 1998):

$$P=\frac{4\pi a}{\omega_0+\sqrt{2+\omega_0^2}}. \quad (16)$$

Dopunjavanje nulama uvodi diskontinuitete u krajnjim tačkama, pa kada se ide ka većim razmerama, opada amplituda blizu ivica. Zbog toga se uvodi oblast uticaja konusa (COI), a bira se tako da vejvlet spektar opada za faktor $e^{-2}$, što obezbeđuje da su uticaji ivica zanemarljivi izvan ovih tačaka.

## 6.4 Analiza rezultata

U ovom odeljku su prikazani rezultati dobijeni korišćenjem Blekman-Takijevog (BT) metoda, metoda sa više prozora (MTM) i vejvlet transformacije za košavu sa najdužim trajanjem (14. januar-13. februar 1972. godine). Za prva dva metoda na *x*-osi je prikazan period u časovima, a na *y*-osi spektralna gustina. Za treći metod je na *x*-osi prikazano vreme u časovima, na *y*-osi period u časovima, a treća promenljiva je vejvlet spektar.

Ono što je odmah uočljivo je maksimum sa periodom od oko 120 h značajan na 95% nivou, dobijen pomoću sva tri metoda. Sa slika 28 i 29 se vidi da su spektri dobijeni BT i MT metodom veoma slični.

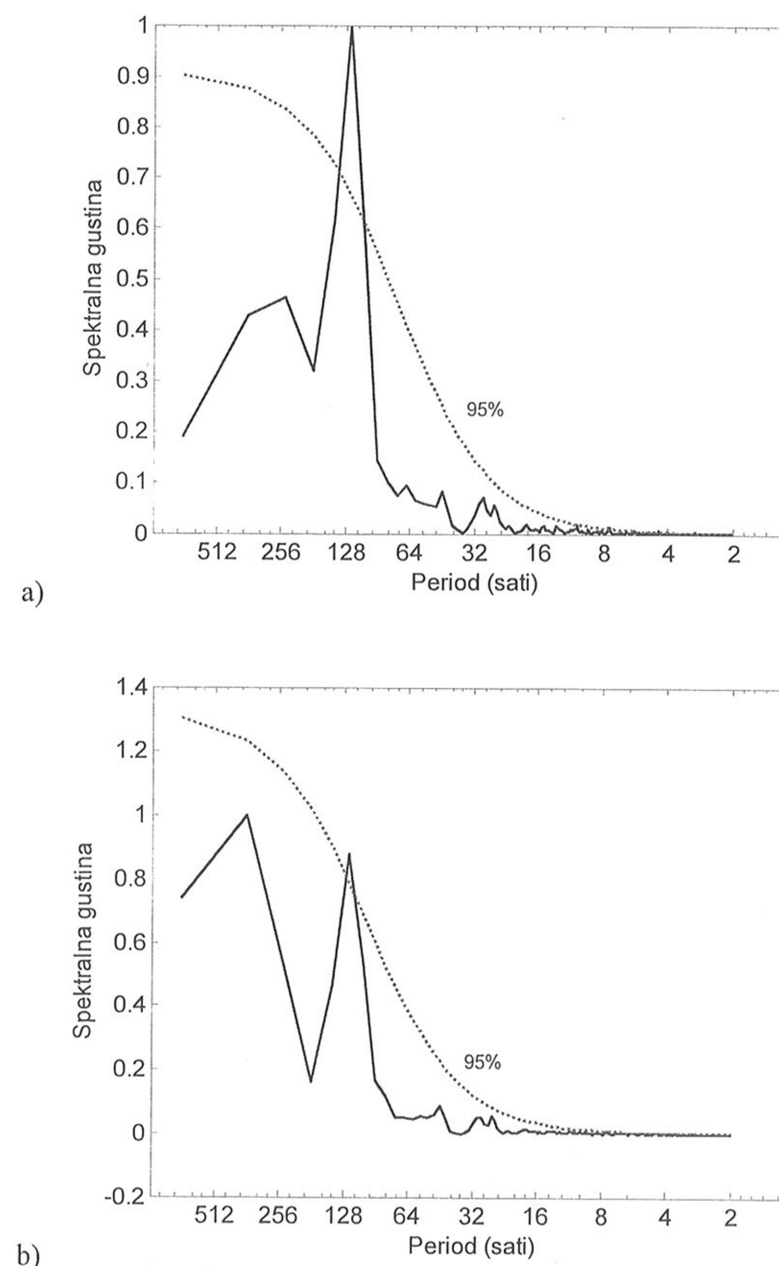
Koristeći Blekman-Takijev metod (slika 28a), dobijene su oscilacije od 121,3 h, ali i kraće od 4,0; 3,6; 3,3-3,2; 3,0-2,9; 2,5-2,3 h za srednje časovne vrednosti, dok su za maksimalne časovne vrednosti košave dobijene oscilacije od 121,3; 7,6-7,5; 5,7; 5,4; 4,8; 4,4-4,3; 3,0; 2,7; 2,5 i 2,3 h (slika 28b).

Koristeći MTM (slika 29a), dobijene su oscilacije od 102,4-128; 4,4; 3,0; 2,9; 2,3 za časovne, a za maksimalne časovne vrednosti košave su dobijene oscilacije od: 102,4; 4,0; 3,6; 2,9, 2,3-2,5 h (slika 29b).

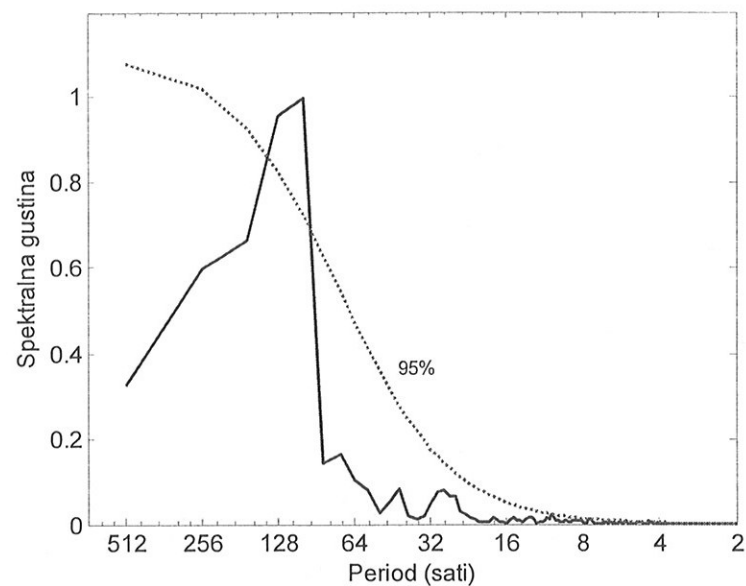
Koristeći vejvlet transformaciju, dobija se organizovana struktura od oko 120 h i za časovne i za maksimalne satne vrednosti vetra, ali je za maksimalne časovne vrednosti 95% kriva uža (slika 30). Ta perioda od oko 120 h se javlja u prvih 400 časova. Takođe se uočavaju i manje oscilacije od 2 do 7 h i to u toku prvih 200 časova i od 400-tog do 600-tog časa.

Iz prethodne analize se može zaključiti da je dominatan period od oko 120 h, tj., oko 5 dana, što nam ukazuje da je košava pojava sinoptičkih razmera, što je već uočeno na osnovu radiosondažnih podataka (ALPEX).

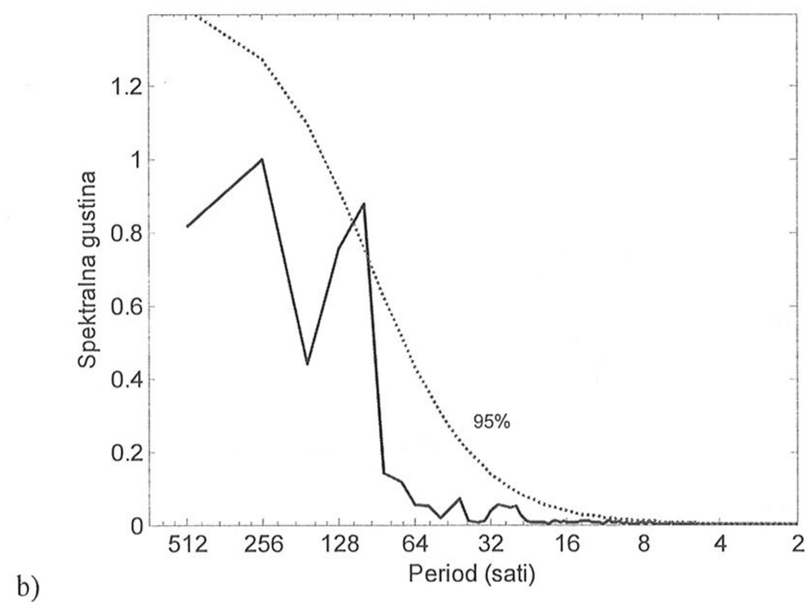





**Slika 28.** Blekman-Takijev metod za: a) srednje časovne i b) maksimalne časovne vrednosti košave (14. januar-13. februar 1972. godine) registrovane na Opservatoriji u Beogradu.



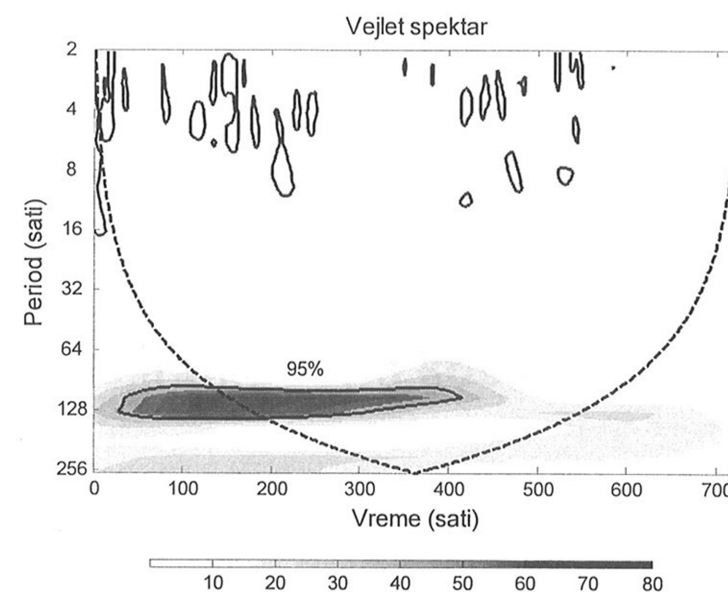

a)



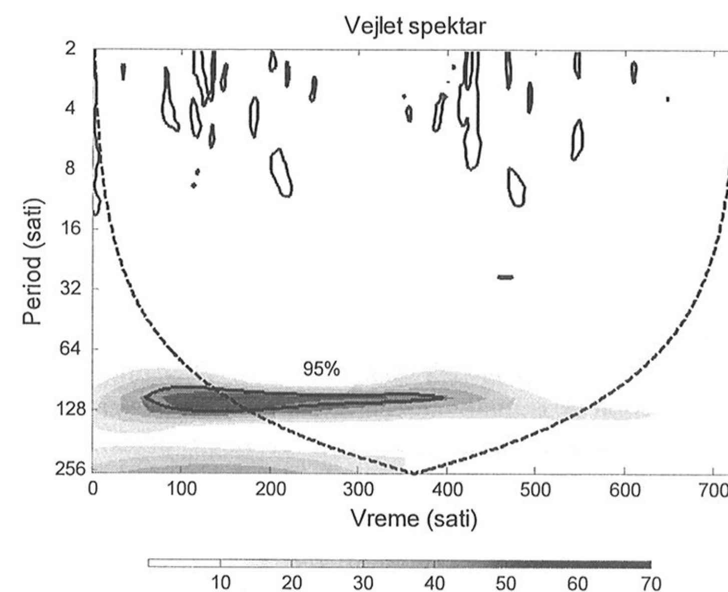

b)

**Slika 29.** Kao na slici 28, koristeći metod sa više prozora.






a)




b)

**Slika 30.** Kao na slici 28, koristeći vejvlet transformaciju.

# 7 Modeliranje vetra košave

U ovoj Glavi monografije prikazaće se modeliranje dve sinoptičke situacije u kojima je duvala košava: od 05. do 06. decembra 1995. godine i od 14. do 17. aprila 1994. godine. Prvu sinoptičku situaciju, razmatranu u Glavi 3, je karakterisala jaka košava. Druga sinoptička situacija je praćena slabom košavom i transportom saharske prašine.

## 7.1 Modeliranje sinoptičke situacije iznad Evrope u periodu od 5. do 6. decembra 1995. godine

Za simulaciju košave Lazić i Tošić (2000) su koristili model za ograničenu oblast sa stepenastim planinama (Mesinger, 1984), tzv. Eta model. Model je definisan na polurazmaknutoj Arakavinoj E mreži. Ima ugrađenu specijalnu tehniku za sprečavanje razdvajanja rešenja (Mesinger, 1973; Janjić, 1979). Vertikalna kooordinata je eta koordinata, kao generalizacija sigma koordinate (Philips, 1957), sa stepenastom prezentacijom planina. U horizontalnoj advekciji model ima ugrađenu kontrolu nelinearne kaskade energije (Janjić, 1984). Vremensko diferenciranje je eksplicitno sa rascepljivanjem (Mesinger, 1977; Janjić, 1979).

Fizički paket modela uključuje Melor-Jamada parametrizacionu šemu nivoa 2,5 za planetarni granični sloj i Melor-Jamada parametrizacionu šemu nivoa 2 za prizemni sloj. Parametrizovani su: površinski procesi, turbulencija, padavine

velikih razmera, konvekcija, horizontalna difuzija i zračenje (Janjić, 1990; 1994).

Za eksperimente je korišćen model sa horizontalnom rezolucijom 0,25°×0,25° (28 km × 28 km) i 16 slojeva po vertikali. Elementarni vremenski korak je bio 90 s. Horizontalna oblast modela je bila definasana između 0° i 30° E geografske dužine i od 40° do 50° N geografske širine (slika 31).

Pošto je Eta model, model za ograničenu oblast, potrebno je da se u prvom spoljnom redu tačaka koriste vrednosti dobijene integracijom nekog modela čija je integraciona oblast veća od oblasti modela koji se posmatra. Stoga su vremenski zavisne granične vrednosti uzete iz analiza Evropskog centra za srednjoročnu prognozu vremena (ECMWF), koje su linearno interpolisane iz analiziranih polja raspoloživih na 6 sati. Kako integraciona oblast modela počinje od trećeg reda tačaka, vrednosti u drugom redu se dobijaju kombinacijom vrednosti iz prvog i trećeg reda.

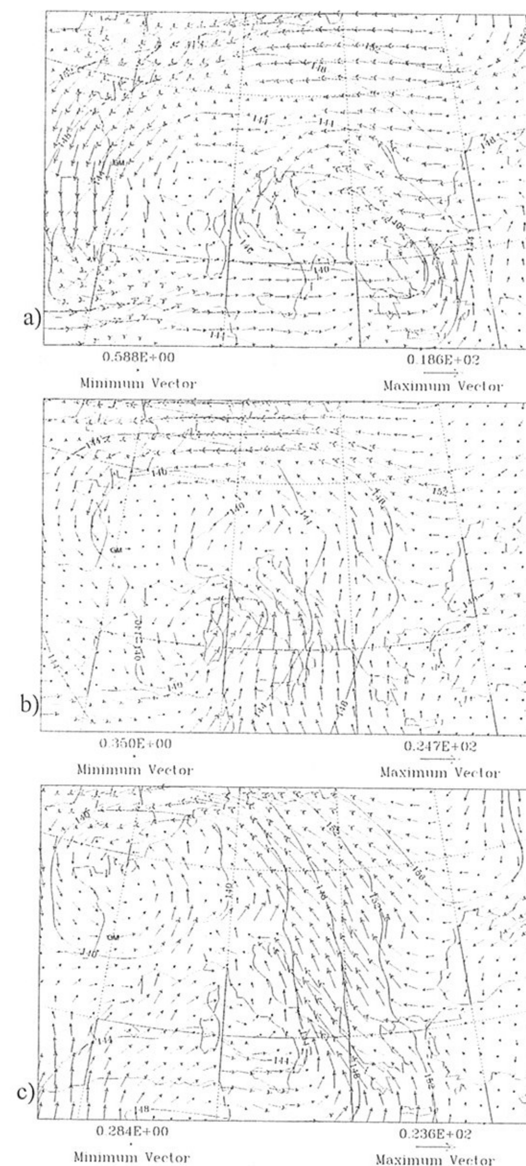
Tipična košavska situacija se dogodila od 5-7. decembra 1995. godine (slika 31) i detaljno je opisana u Glavi 3. Koristeći simuliran vetar, izračunate su trajektorije unapred polazeći od osam najnižih nivoa modela (LT=1 sa približnom visinom od $z$=3820 m; LT=2, $z$=3057 m; LT=3, $z$=2380 m; LT=4, $z$=1784 m; LT=5, $z$=1264 m; LT=6, $z$=818 m; LT=7, $z$=442 m i LT=8, $z$=136 m) za izabranu početnu poziciju $\lambda$=24°, $\varphi$=44° i pokazane su na slici 32.

Trajektorija koja je krenula sa najnižeg nivoa modela (LT=8 na $z$=136 m ili $\eta$=0,98) je bila blokirana planinanama (stepenasta eta orografija od 272 m) u početnom položaju i nije prikazana na crtežu. Sve trajektorije povećavaju brzinu u početku integracije. Maksimalna brzina je bila oko 3 h od početka integracije, u orografiji tipa kanala Iron Gate kroz Karpate. Sve trajektorije su se penjale u početku iznad orografskih stepenika od 613 m, 1023 m, a neke od njih i iznad 1506 m, a zatim su se spuštale u zavetrenoj strani Karpata. Mlazna struja je simulirana na oko 1200 m sa brzinom vetra od 25 m/s. U isto vreme maksimalna brzina je bila 21 m/s na nivou od 800 m, a maksimalna brzina je bila 22 m/s na nivou od 1800 m.

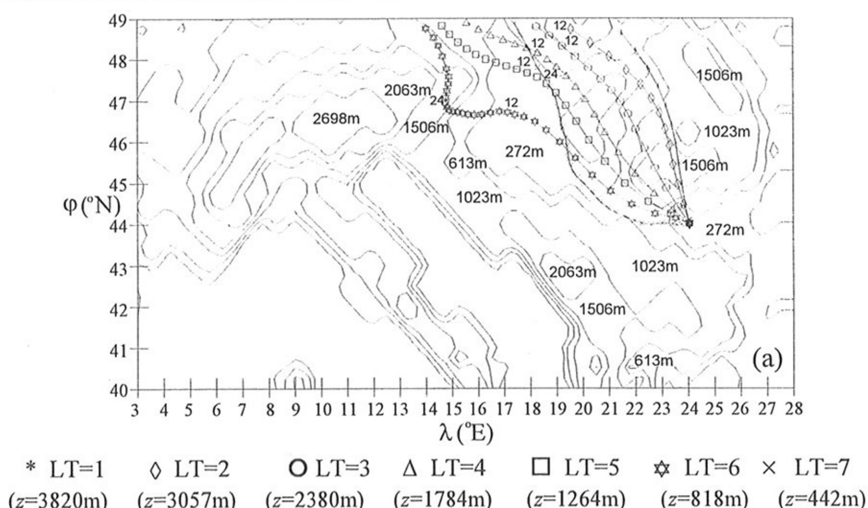
Trajektorije koje su krenule sa nivoa 1 i 2 (LT=1, $z$=3820 m i LT=2, $z$=3057 m) su imale skoro jugoistočni pravac, povećavajući visinu iznad stepenica od 1506 m preko Karpata (slika 32 a, b). Trajektorija koja je krenula sa nivoa 3 (LT=3, $z$=2380 m) je dostigla maksimalnu brzinu od 18 m/s nakon 3 h od integracije, iznad orografske stepenice od 1506 m (slika 32 a, c). Trajektorija koja je krenula sa nivoa 4 (LT=4, $z$=1784 m) je imala maksimalnu brzinu od 22

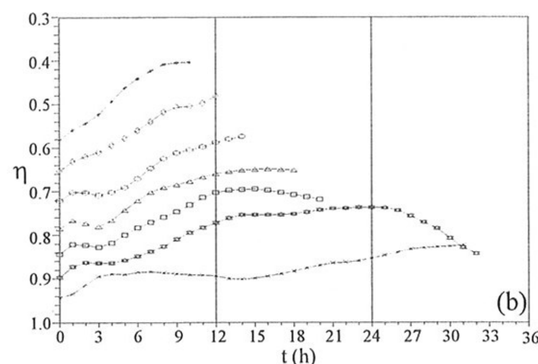


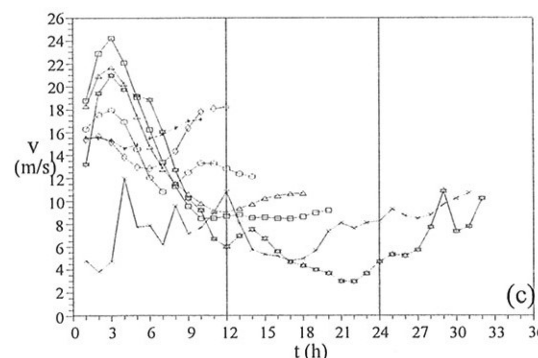
m/s nakon 3 h od početka integracije, upravo iznad orografskog stepenika od 1506 m.



**Slika 31.** Simulirana vremenska situacija za 05. decembar 1995. godine na 850 hPa: a) 00 h, b) +24 h, c) +48 h.




**Slika 32.** Trajektorije unapred za 05. decembar 1995. godine: a) horizontalni položaj, b) vertikalan položaj, c) brzina vetra duž trajektorija.

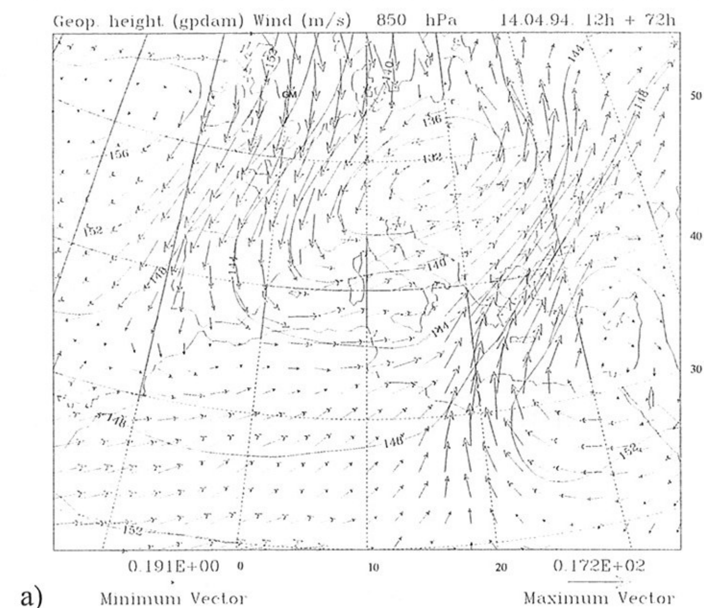


Trajektorija koje je krenula sa nivoa 5 (LT=5, $z$=1264 m) je imala maksimalnu brzinu od 25 m/s u trećem satu integracije. To je niska mlazna struja vetra košave, locirana oko 1200 m u vertikalnom pravcu, sa jugoistočnim pravcem, u kanalu kroz Karpate. Trajektorija koja je krenula sa nivoa 6 (LT=6, $z$=818 m) dostigla je maksimalnu brzinu od 21 m/s nakon 3 h. Trajektorija koja je krenula sa nivoa 7 (LT=7, $z$=442 m) je imala maksimalnu brzinu od 12 m/s nakon 4 h. Tipična raspodela brzina vetra duž trajektorija se poklapa sa osmatranjima. Svim trajektorijama opada brzina vetra, nakon prolaska košavske oblasti.

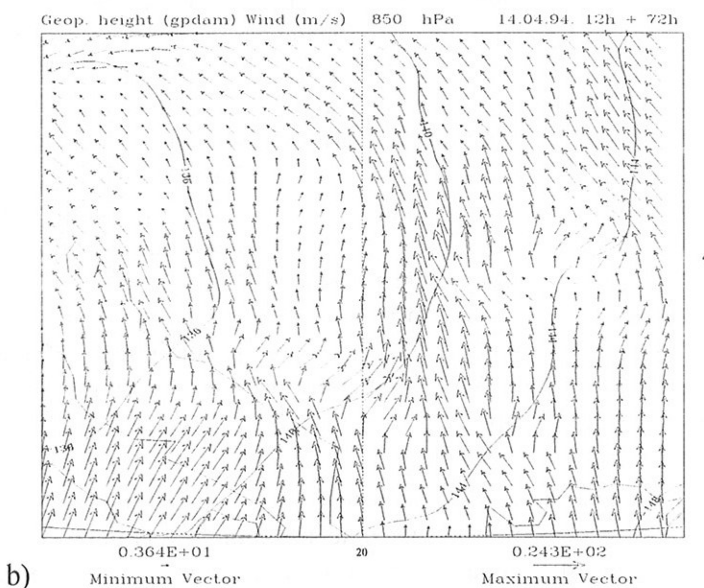
## 7.2 Modeliranje sinoptičke situacije iznad Evrope u periodu od 14. do 17. aprila 1994. godine

Primer umerene košave u periodu od 14-17. aprila 1994. godine je opisan u Vukmirović i saradnici (2004). Balkansko poluostrvo je bilo pod uticajem transporta i depozicije saharske prašine. Ta prašina je bila bogata gvožđem koje daje crvenu ili žutu boju padavinama (Vukmirović i saradnici, 1997). Razvoj depresije u severnoj Africi je počeo 14. aprila 1994. godine. Sinoptička situacija od 14. do 17. aprila je simulirana koristeći Eta model sa horizontalnim rezolucijama od $1^\circ \times 1^\circ$ i $10' \times 10'$. Slika 33a, b pokazuje 72 h prognozu vetra i geopotencijalne visine na 850 hPa koristeći manju i veću rezoluciju, respektivno. Prašina podignuta u ciklonskoj cirkulaciji, nošena je ka jugoistočnoj Evropi i ka Beogradu. Padavine su se prvo javile u južnoj Srbiji tokom noći 15/16 aprila. Žuta kiša je zabeležena 16. i 17. aprila, kada su u Beogradu bile maksimalne padavine (Vukmirović i saradnici, 1997). Košava je bila umerene jačine tokom ovog slučaja saharske prašine. Maksimalna brzina vetra od 4,6 m/s je izmerena u 24 h intervalu od 16. do 17. aprila. Nakon tog intervala vetar je bio promenljivog pravca sa brzinama ispod 1 m/s.

Trajektorije unazad, izračunate koristeći prognozu iz Eta modela za 72 h sa veoma visokom rezolucijom, su prikazane na slici 34. Trajektorije na većim visinama su brzo napustile oblast integracije, koja je bila mala u poređenju sa domenom integracije za rezoluciju od $1^\circ \times 1^\circ$. Slika 34b pokazuje vertikalnu poziciju trajektorija prema eta nivoima. Prilazeći Beogradu, trajektorije sa nižih nivoa imaju SE pravac (slika 34a) sa malim brzinama vetra (slika 34c).



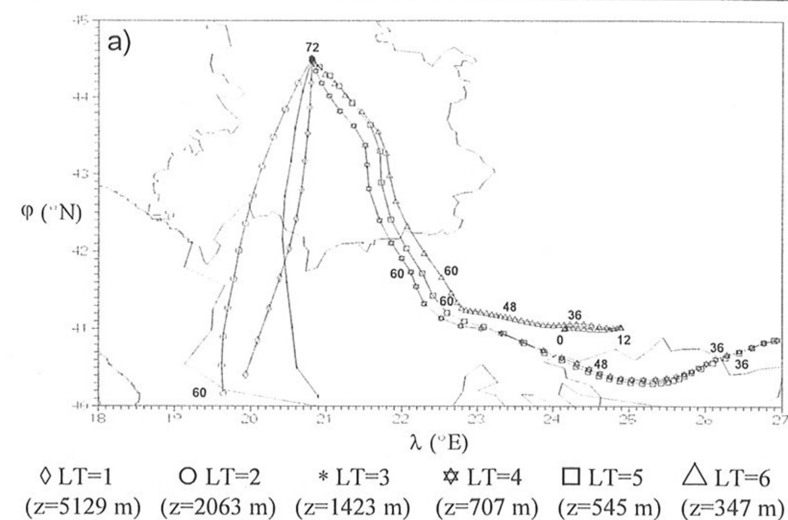

a)



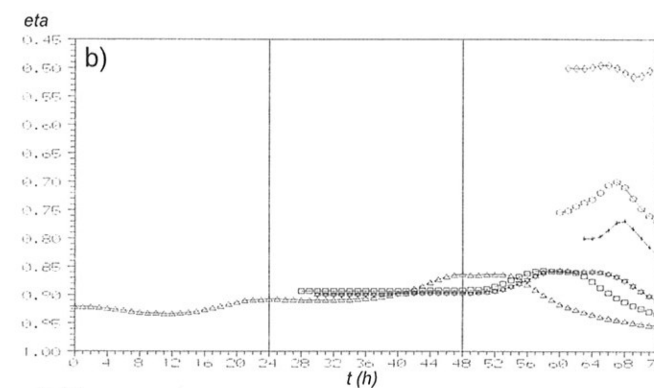

b)

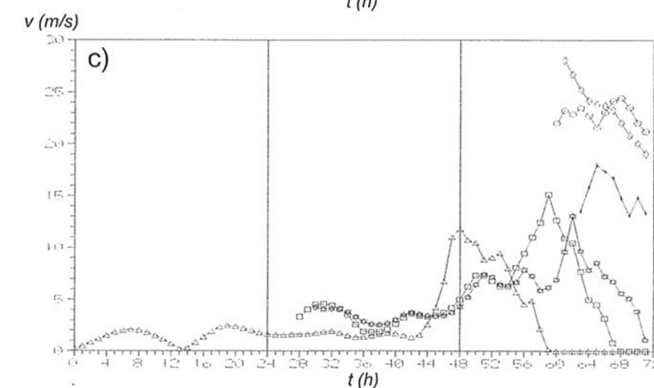
**Slika 33.** 72h prognoza vetra i geopotencijalne visine na 850 hPa za 14 april 1994. godine koristeći rezolucije: a) 1°× 1°, b) 10'× 10'.






◊ LT=1 (z=5129 m) O LT=2 (z=2063 m) * LT=3 (z=1423 m) ✡ LT=4 (z=707 m) □ LT=5 (z=545 m) △ LT=6 (z=347 m)




**Slika 34.** Trajektorije unazad za 14. april 1994. godine: a) horizontalni položaj (brojevi duž trajektorija označavaju vreme integracije), b) vertikalan položaj, c) brzina vetra duž trajektorija.

Umerenom košavom je transportovan vazduh kroz basen reke Morave izbegavajući jako zagađen rudnik u Boru i basene visokih peći u istočnoj Srbiji. Dominantni metali iz Bora su Cu i Zn. Usled umerenih brzina vetra nije bilo uslova za resuspenziju delića iz dubokih dolina u atmosferu (Braaten et al, 1990). Treba napomenuti da glavni izvori metala iz železara u centralnoj Srbiji nisu radili u to vreme. Prema analizi tri najniže trajektorije, transport metala iz Makedonije i južne Srbije košavom je bio dominantan u osmotrenoj epizodi. Pretpostavlja se da su frakcije Pb i Cd, nađene u uzorcima suve depozicije, transportovane iz severozapadne Makedonije, preciznije iz industrijskog grada Tetova. Turbulentni tok je pojačao proces koagulacije u početku čistih delića prašine sa delićima koji sadrže Pb i Cd. Prilazeći Beogradu sve trajektorije se poklapaju i proces koagulacije je verovatan u poslednjih 6 h (slika 34). Izgleda da se ovaj proces nastavio i u severnoj Srbiji proizvodeći kontaminirano plodno zemljište sa toksičnim metalima ili depozicijom ili resuspenzijom.

# Literatura


Blackman, R. B., Tukey, J. W., 1958: The measurement of power spectra. New York: Dover Publications, 190 pp.

Borisenko, M. M., 1977: Raspredelenie vetra v nižnem sloe atmosferi nad gorodom. *Trudi,* GGO, **368**, 86-122.

Braaten, D. A., Paw, K. T., Shaw, R. H., 1990: Particle resuspension in a turbulent boundary layer - observed and modeled. *J. Aerosol Sci.*, **21**, 613-628.

Brook, R. R., Spilane, K. T., 1970: On the variation of maximum wind gusts with height. *J. Appl. Meteorol.,* **9**, 72-78.

Gilman, D. L., Fuglistet, F. J., Mitchell, J. M., 1963: On the power spectrum of red noise. *J. Atmos. Sci.*, **20,** 182-184.

Čupić, T., Milutinović, M., Vukmirović, D., 1985: Atmospheric waves in the lower troposphere in koshava on the basis of radiosounding. 18-th International conference for Alpine Meteorology, Opatija, 25-29 IX 1984., *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova,* **11**, 64-66.

Davenport, A. G., 1961: The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds. *Q. J. R. Meteorol. Soc.,* **87**, 194-211.

Davies, F. K., Newstein, H., 1968: The variation of gust factors with mean wind speed and with height. *J. Appl. Meteorol.,* **7**, 372-378.

Frankenberger, E., 1968: Untersuchung über Intenzität, Haufigkeit und Struktur von Starkwinden über Quickborn in Holstein. *Meteorol. Rundschau,* **3**, 65-69.

Jackson, P. S., 1978: Wind structure near a city centre. *Boundary Layer Meteorol.*, **15**, 323-340.

Janjić, Z. I., 1979: Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models, *Contrib. Atmos. Phys.*, **52**, 69-84.

Janjić, Z. I., 1984: Non-linear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1234-1245.

Janjić, Z. I., 1990: The step-mountain eta coordinate model: Physical package. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1429-1443.

Janjić, Z. I., 1994: The step-mountain eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 927-945.

Labraga, J. C., 1994: Extreme Winds in the Pampa del Castillo Plateau, Patagonia, Argentina, with Reference to Wind Farm Settlement. *J. Apll. Meteorol.*, **33**, 85-95.

Lazić, L., Tošić, I., 2000: Sensitivity of forecast trajectories to wind data inputs during strong local wind conditions, *Idojaras*, **104**, 91-107.

Mališić, J., Unkašević, M., 1997: Statističke raspodele u klimatologiji, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 156 str.

Mann, M. E., Park, J., 1994: Global-scale modes of surface temperature variability on interannual to century timescales. *J. Geophys. Res.*, **99**, 25819-25833.

Mann, M. E., Park, J., 1996: Joint spatiotemporal modes of surface temperature and sea level pressure variability in the northern hemisphere during the last century. *J. Climate*, **9**, 2137-2162.

Mann, M. E., Lees, J., 1996: Robust Estimation of Background Noise and Signal Detection in Climatic Time Series. *Climatic Change*, **33**, 409-445.

Mesinger, F., 1973: A method for construction of second-order accuracy difference schemes permitting no false two-grid-interval wave in the height field. *Tellus*, **25**, 444-458.

Mesinger, F., 1977: Forward-backward scheme and its use in a limited area models, *Contrib. Atmos. Phys.*, **50**, 200-210.



Mesinger, F., 1984: A blocking technique for the representation of mountains in atmospheric model. *Riv. Met. Aeronautica*, **44**, 195-202.

Milosavljević, M., 1950: Fizičke osobine vetrova u Beogradu. Naučna knjiga, Beograd, 67 str.

Milosavljević, M., 1950a: Vetar košava u Podunavlju. Glasnik Šumarskog fakulteta, **1**, 263-292.

Milosavljević, K., 1972: Contribution a la connaisance des caracteristique de la structure du vent fort, rafale koshava dans la region de Danube. *Comptes Rendus du Veme Conference de Meteorologie des Carpates*, Bucurest, 14-20 IX 1971, 510-521.

Milosavljević, K., 1975: Caracteristique du vent fort an Nord-East de la Yugoslavie dans region des Alpes de Transylvanie. Comptes Rendus du 13-eme Congres International de Meteorologic Alpine, Saint-Vincent, 17-19 IX 1974, *Rivista Italiana di Geofisica e Scienze Affini*, **1**, 81-89.

Milosavljević, M., 1976: Der Wind Koshava in östlichen Teil Yugoslawiens. In: Local Wind Bora, by M.M. Yoshino, University of Tokyo Press, Tokyo, 203-214.

Mojsilović, A., 1997: Diskretna wavelet transformacija u analizi teksture. Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 180 str.

Nof, D., Paldor, N., 1994: Statistics of wind over the Red Sea with Application to the Exodus Question. *J. Appl. Meteorol.*, **33**, 1017-1025.

Oke, T. R., 1978: Boundary Layer Climates, Methuen, New York, 372 str.

Park, J., Lindberg, C. R., Vernon, F. L., (1987) Multitaper spectral analysis of high-frequency seismograms. *J. Geophys. Research*, **92** (B12), 12675-12684.

Petrović, N., 1977: Mezoanaliza košavske situacije u periodu od 16. do 18. oktobra 1976. god., Diplomski rad, Prirodno-matematički fakultet, Beograd, 69 str.

Philips, N. A., 1957. A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting. *J. Meterol.*, **14**, 184-185

Popović, Z., 1982: Lično saopštenje.

Radinović, Đ., 1979: Prognoza vremena. Privredno-finansijski vodič, Beograd, 266 str.

Radinović, Đ., 1981: Vreme i klima Jugoslavije. Građevinska knjiga, Beograd, 423 str.

Radosavljević, M., Vojnović-Kljaić, R., 1985: Prediction of koshava wind velocity. *Zbornik radova sa XII Međunarodne konferencije za Karpatsku meteorologiju,* Beograd, 58-60.

Stanojević, S., 1959: Vetar košava kao klimatski modifikator. *Zbornik radova Poljoprivradnog fakulteta*, Beograd, **275**, 1-12.

Takle, E. S., Brown, J. M., 1978: Note on the Use of Weibull Statistics to Characterize Wind- Speed Data. *J. Appl. Meteorol.*, **17**, 556-559.

Thomson, D.J., 1982: Spectrum estimation and harmonic analysis. *Proc. IEEE*, **70**, 1055-1096.

Torrence, C., Compo, G. P., 1998: A practical guide to Wavelet Analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 61-78.

Tošić, I., 2004: Spatial and temporal variability of winter and summer precipitation over Serbia and Montenegro, *Theor. Appl. Climatol.*, **77**, 47-56.

Tošić, I., Unkašević, M., 2004: Periodicity of the annual precipitation totals in Serbia and Montenegro , *Idojaras*, **108**, 265-281.

Tošić, I., 2005: Analiza vremenskih serija temperature i padavina. Doktorska disertacija, Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 159 str.

Tošić, I., Unkašević, M., 2005: Analysis of precipitation series for Belgrade, *Theor. Appl. Climatol.*, **80**, 67-77.

Tukey, J. W., 1950: The sampling theory of power spectrum estimates. Symposium on Applications of Autocorrelation Analysis to Physical Problems. US Office of Naval Research, Washington, DC, NAVEXOS-P-735, 47-67.

Unkašević, M., 1994: Klima Beograda. Naučna knjiga, Beograd, 121 str.

Unkašević, M., Tošić, I., 1996: "Statistic analysis of the maximum wind speed of the "Koshava", *International Conference on Carpathian Meteorology (ICCM 96)*, 14-18 October, Visegrad, Hungary, 27-32.

Unkašević, M., Mališić, M., Tošić, I., 1998: On Some Statistical Characteristics of the Wind "Koshava". *Meteorol. Atmos. Physics,* **1/2**, 1-11.



Unkašević, M., Mališić, J., Tošić, I., 1999: Some aspects of the wind "Koshava" in the lower Troposphere over Belgrade. *Meteorol. Appl.,* **6**, 69-80.

Unkašević, M., Vujović, D., Tošić, I., 2002: Zbirka zadataka iz klimatologije i primenjene meteorologije. Univerzitet u Beogradu, Savezni hidrometeorološki zavod, 238 str.

Unkašević, M., 2003: Primenjena meteorologija. Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd, 235 str.

Vojnović Kljaić, R., Popović, Z., 1978: Sinoptičko-aerološki uslovi pri pojavi orkanskih udara košave na dan 17. 10. 1976. godine. *1st Conference on protection against atmospheric storms*, Republički hidrometeorološki zavod SR Srbije, 1-10, 1978.

Vukmirović, D., 1985a: The Koshava wind events during the Alpex special observing period. 18-th International Conference for Alpine Meteorology, Opatija, 25-29 IX 1984, *Zbornik meteoroloških i hidroloških radova*, **11**, 75-77.

Vukmirović, D., 1985b: Prostranstvena struktura vetra košava. Dokladi XII Међународноj Конференции по метеорологии Карпат, Beograd, 1-5 X 1985, 10-15.

Vukmirović, D., Merkle, M., 1991: Characteristics of wind in the lower troposphere over Belgrade. Savez društava inženjera i tehničara Beograda, Zbornik radova II, 1-9.

Vukmirović, D., 1997: Ventilation factor during Koshava. XXV Savetovanje "Zaštita vazduha 97", Beograd, 19-21 XI 1997.

Vukmirović, D., Unkašević, M., Tošić, I., 1997: Udarnost košave. 23 Savetovanje Juko Cigre, 25-30 maj, 1997, Herceg-Novi, Zbornik referata, grupa 22 nadzemni vodovi, R22-03/1-7.

Vukmirović, Z., Unkašević, M., Tomašević, M., Tošić, I., 1997: Impact of Saharan dust storms on the territory of Yugoslavia. *Balkan Physics Letters*, 7, 209-215.

Vukmirović, Z., Unkašević, M., Lazić, L., Tošić, I., Rajšić, S., Tasić, M., 2004: Analysis of the Saharan dust regional transport, *Meteor. Atmos. Phys.*, **85**, 265-273.

Wieringa, J., 1973: Gusts factors over open water and built-up country. *Boundary Layer Meteorol.*, **3**, 424-441.

*Izdavač*

AKADEMSKA MISAO
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Bul. kralja Aleksandra 73, Beograd
tel./fax: +381.11.3218.354

knjizara@akademska-misao.co.yu

www.akademska-misao.co.yu

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

CIP

551.555(4)

УНКАШЕВИЋ, Мирослава
Košava : monografija / Miroslava Unkašević, Ivana Tošić. - Beograd : Akademska misao, 2006 (Beograd : Planeta print). - 82 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Bibliografija: str. 77-82.

ISBN 86-7466-224-2
1. Тошић, Ивана
а) Кошава
COBISS.SR-ID 127811852